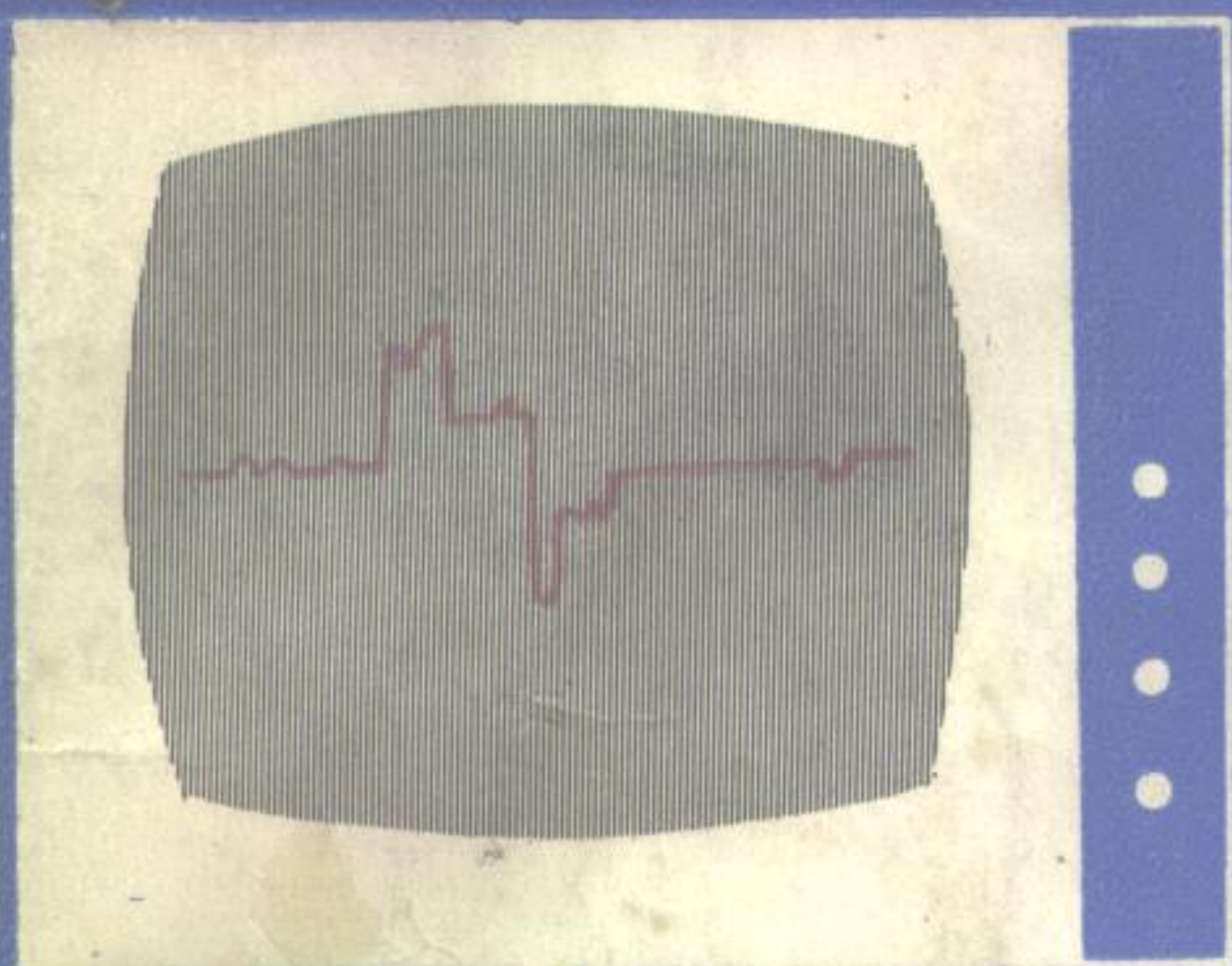


回声探鱼仪



于雪南 编著
农业出版社

205 / 0

回声探鱼仪

于雪南 编著

农业出版社

回 声 探 鱼 仪

于雪南 编著

农业出版社出版 (北京朝内大街 130 号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 23 印张 6 插页 520 千字
1982年12月第 1 版 1982年12月北京第 1 次印刷
印数 1—1,350册

统一书号 15144·632 定价 3.65 元

前 言

回声探鱼仪是海洋捕捞主要的助渔仪器，我国渔轮和机帆渔船已普遍应用。当前，国内外均在积极研制更有效的新型探鱼仪。本书是在作者研制回声探鱼仪的实践基础上，根据国内的实际需要编写的。全书十三章分别涉及与探鱼仪有关的专题，考虑到既使之相互联系，又可分章阅读，以适应不同读者的要求。在文字上力求深入浅出，以图建立清晰的物理概念，使读者能正确掌握探鱼仪各部分的基本工作原理和安装、使用等实际技能。

在编写过程中，得到国家水产总局渔业机械仪器研究所领导和同志们的大力支持，特别是上海水产学院施彬教授在审校本书时，提出了许多宝贵意见，并对部分章节作了删改。同时，还得到顾嗣明、陈艮、俞镇平等同志的热情帮助，在此一并致谢。

回声探鱼仪的内容涉及到水声物理、电子学、机械和水产等学科领域，作者学识有限，错误之处在所难免，热忱地欢迎读者指正。

于雪南

1980年3月于上海

目 录

概论	1
第一章 超声探鱼基础	5
§ 1.1 声波	5
1.1.1 声波与振动	5
1.1.2 声波的波长和强度	5
1.1.3 声级	6
§ 1.2 超声波在海中的传播	7
1.2.1 海水中的声速	7
1.2.2 超声在海中的传播损失	8
§ 1.3 海底和鱼群对超声波的反射	9
1.3.1 基本物理现象	9
1.3.2 海底反射	12
1.3.3 鱼体反射	13
§ 1.4 空化和多普勒频移	15
1.4.1 空化作用	15
1.4.2 多普勒频移	16
§ 1.5 海中的噪声	19
1.5.1 噪声的类型	19
1.5.2 噪声的计量	19
1.5.3 噪声的频谱级	20
§ 1.6 超声探鱼的基本原理	21
1.6.1 利用回波测定距离	21
1.6.2 发射脉冲宽度与垂直分辨力	21
1.6.3 声束应有一定的指向性	22
1.6.4 贴近海底的掩蔽区	24
1.6.5 探鱼时选用超声频率的理由	24
1.6.6 垂直探鱼仪的基本组成部分	24
第二章 换能器	26
§ 2.1 换能器材料	26
2.1.1 压电材料	26
2.1.2 电致伸缩材料	26
2.1.3 磁致伸缩材料	29
§ 2.2 换能器的结构	31
2.2.1 锆钛酸铅圆片形换能器	31
2.2.2 镍片矩形换能器	33

2.2.3 铁氧体矩形换能器	33
§ 2.3 换能器的特性	35
2.3.1 工作频率	35
2.3.2 指向性	39
2.3.3 接收灵敏度	44
2.3.4 效率	44
2.3.5 阻抗	45
2.3.6 换能器输出的极限声强	46
2.3.7 换能器基阵	47
§ 2.4 换能器的测试	51
2.4.1 声场中测量	51
2.4.2 换能器电参数测量	53
第三章 发射机	65
§ 3.1 发射波形分析	65
3.1.1 脉冲调制波的频谱	65
3.1.2 等幅波和衰减波	66
3.1.3 发射机电路结构的基本程式	67
§ 3.2 等幅波振荡器	67
3.2.1 振荡电路基本形式	67
3.2.2 对振荡器的基本要求	68
§ 3.3 脉冲振荡典型电路	69
3.3.1 直接断开电路方式	69
3.3.2 自激间歇振荡方式	70
3.3.3 脉冲激励振荡方式	71
§ 3.4 发射功率放大电路	76
3.4.1 电子交连式功率放大	76
3.4.2 晶体管功率放大	76
3.4.3 电子管功率放大	80
§ 3.5 发射机与换能器的匹配	83
3.5.1 匹配的一些基本概念	83
3.5.2 换能器机械谐振时的等效电路	83
3.5.3 发射机输出电路	84
3.5.4 匹配计算	86
§ 3.6 国产探鱼仪常用发射机电路	88
3.6.1 67型探鱼仪发射机电路	88
3.6.2 69型探鱼仪发射机电路	89
第四章 接收机	93
§ 4.1 有关接收机的一些基础知识	93
4.1.1 回波的一些特性	93
4.1.2 接收机的主要指标	94
§ 4.2 接收电路基本型式	96
4.2.1 直接放大式	97

4.2.2 载频外差式	97
4.2.3 视频触发式	97
§ 4.3 讯号输入电路	99
4.3.1 对输入电路的基本要求	99
4.3.2 各种实用输入电路	105
§ 4.4 接收放大电路	108
4.4.1 前置放大	108
4.4.2 变频放大	114
4.4.3 视频放大	116
§ 4.5 输出电路	117
4.5.1 交流输出电路	118
4.5.2 直流输出电路	119
§ 4.6 辅助电路	120
4.6.1 白线电路	120
4.6.2 微分甄别电路	123
4.6.3 时变增益 (TVG) 电路	125
第五章 电源	128
§ 5.1 探鱼仪的外部 and 内部电源	128
5.1.1 船电	128
5.1.2 接收机对电源的要求	129
5.1.3 发射机对电源的要求	129
5.1.4 其他部分的电源	129
5.1.5 探鱼仪电源方框图	130
§ 5.2 整流设备	130
5.2.1 整流电路基本部件	131
5.2.2 整流电路	133
§ 5.3 调压、稳压设备	137
5.3.1 稳压管及其稳压电路	137
5.3.2 串联式晶体管稳压电路	140
5.3.3 简单的调压器	143
5.3.4 交流电源过压调节器	144
§ 5.4 变流设备	147
5.4.1 旋转变流机	147
5.4.2 晶体管变流器	150
第六章 机械记录器	156
§ 6.1 记录笔运行机构	156
6.1.1 圆弧式	157
6.1.2 直线式	158
6.1.3 凸轮式	159
6.1.4 圆筒螺旋式	159
§ 6.2 发射同步触发方式	160
6.2.1 机械触点	160

6.2.2 干簧管触发	160
6.2.3 电磁感应	161
6.2.4 光电效应	161
§ 6.3 稳速电动机	162
6.3.1 直流电动机	162
6.3.2 交流电动机	167
6.3.3 步进电动机	168
§ 6.4 记录纸	170
6.4.1 湿式记录纸	170
6.4.2 干式记录纸	172
§ 6.5 卷纸机构	172
6.5.1 蜗轮蜗杆的减速机构	173
6.5.2 棘轮减速机构	174
§ 6.6 记录器实例	175
第七章 垂直探鱼仪的某些进展	178
§ 7.1 指示方式上的改进	178
7.1.1 步进式记录器	178
7.1.2 多针式记录器	180
7.1.3 彩色显示器	186
§ 7.2 收发系统中的某些改进	188
7.2.1 双频率探鱼	188
7.2.2 远距离无线电控制方式	189
7.2.3 换能器声束可变	190
7.2.4 探鱼仪中计算机技术的应用	192
§ 7.3 垂直探鱼仪中的一些问题	194
7.3.1 调频探鱼	194
7.3.2 底鱼探测	194
7.3.3 探测频率可变	195
7.3.4 鱼群计数和鱼类识别	195
7.3.5 海上声波干扰问题	196
第八章 水平探鱼仪	199
§ 8.1 步进式水平探鱼仪	199
8.1.1 电路方框图	199
8.1.2 基本结构单元	199
§ 8.2 扫描式水平探鱼仪	206
8.2.1 步进式的主要弱点及其解决途径	206
8.2.2 扫描式的基本工作原理	208
8.2.3 电路方框图	209
8.2.4 扫描声纳的特点	211
§ 8.3 多波束水平探鱼仪	211
8.3.1 基本工作原理	211
8.3.2 电路方框图	213
8.3.3 多波束声纳与步进和扫描声纳的对比	215

8.3.4 多波束渔用声纳机型	216
第九章 网口探鱼仪	221
§ 9.1 从测网位到在网口直接探鱼	221
9.1.1 网位仪	221
9.1.2 从网位仪到网口探鱼仪	222
§ 9.2 有线式网口探鱼仪	223
9.2.1 整套设备部件	224
9.2.2 技术特性	224
9.2.3 扫描式网口探鱼仪	226
§ 9.3 无线式网口探鱼仪	226
9.3.1 仪器各部件的基本功能	226
9.3.2 整机系统和技术特性	229
9.3.3 <i>FUR-200/400</i> 型电路简述	229
§ 9.4 网口探鱼仪映象记录	236
9.4.1 有线式单换能器向下探测记录	236
9.4.2 无线式双换能器向上、向下探测记录	239
第十章 安装	241
§ 10.1 整机安装	241
10.1.1 探鱼仪安装原则	241
10.1.2 整机安装联接	242
10.1.3 防止干扰	246
10.1.4 船上接地	247
§ 10.2 航行噪声的产生和防止	250
10.2.1 航行噪声的声源及其传播途径	250
10.2.2 降低航行噪声的措施	251
10.2.3 导流罩	252
§ 10.3 换能器安装	253
10.3.1 换能器安装原则	253
10.3.2 水密措施	255
10.3.3 平底安装	255
10.3.4 船底突出安装	257
10.3.5 舷侧安装	264
10.3.6 升降式换能器安装	265
第十一章 使用	268
§ 11.1 初次校验性使用	268
11.1.1 静态检查	268
11.1.2 室内通电检验	268
11.1.3 港内通电检验	270
§ 11.2 探鱼仪主要特性的运用	271
11.2.1 船电电压	271
11.2.2 增益控制	272
11.2.3 工作频率	272

11.2.4 发射脉冲宽度	273
11.2.5 白线调节	274
11.2.6 时变增益 (TVG)	275
11.2.7 自动增益控制 (AGC)	276
§ 11.3 水平探测特点	276
11.3.1 能搜索船四周一定距离内的海域	276
11.3.2 换能器操纵系统	277
11.3.3 水平探测的水声特点	278
§ 11.4 探鱼仪在海洋捕捞中的作用	279
11.4.1 拖网作业	280
11.4.2 围网作业	282
11.4.3 其他作业	283
§ 11.5 探鱼仪在淡水捕捞中的应用	283
11.5.1 淡水中探测的一些声学特性	283
11.5.2 探鱼仪在湖库捕捞中的应用	284
11.5.3 湖库用探鱼仪的某些技术特性	285
11.5.4 湖库探测中存在的一些问题	285
第十二章 映象判读	287
§ 12.1 映象判读的基本要素	287
12.1.1 声波所占的空间	287
12.1.2 回波持续的时间	288
12.1.3 记录回波的强度	289
§ 12.2 各类映象的基本特征	290
12.2.1 零位线	290
12.2.2 海底线	290
12.2.3 鱼群	292
12.2.4 噪声和干扰	296
§ 12.3 易与鱼群混淆的目标	298
12.3.1 散射层映象	298
12.3.2 小鱼映象	298
12.3.3 暗礁、沉船	299
§ 12.4 水平记录映象	299
12.4.1 判读时要有时空概念	299
12.4.2 从干扰背景中判读目标讯号	300
§ 12.5 各种记录映象	301
图12.5.1—12.5.31	301
第十三章 探测能力	308
§ 13.1 垂直探测能力的计算	308
13.1.1 发射声源级	309
13.1.2 传播损失	310
13.1.3 目标强度	312
13.1.4 噪声级	317

13.1.5 讯噪比	321
13.1.6 计算举例	322
§ 13.2 垂直探测能力的海上临界测试法	324
13.2.1 几种灵敏度的使用状态	324
13.2.2 临界测试法的前提和依据	325
13.2.3 最大测深能力的测试方法	326
13.2.4 最大探鱼能力的测试方法	330
§ 13.3 水平探测能力的计算	334
13.3.1 混响	334
13.3.2 水平探测方程	338
13.3.3 计算举例	340
附录	346
14.1 探鱼仪型号编码含义及示例	346
14.2 海况等级表	347
14.3 鱼群水平长度与船速、纸速的关系	348
14.4 重要鱼类栖息深层临界水温谱	348
14.5 部分国产垂直探鱼仪技术特性	349
14.6 部分国内外水平探鱼仪技术特性	350
14.7 部分国产探鱼仪实物外形及内部结构	351
14.8 部分国产垂直探鱼仪技术特性	355
参考资料	363

概 论

回声探鱼仪是利用回声原理探测鱼群的仪器，从最早的测深仪算起，至今也有半个世纪了。目前它象网具一样是海洋捕捞的必要工具，而超声探鱼也是水产工作人员众所周知的常识了。

丝竹音律、空谷回声，人类对空气中声波的传播和反射特性早有所知，天坛回音壁巧妙的音响设计，是人为控制回声的典型例子。对声在水中的传播也早有所认识，1490年意大利著名学者芬奇在他的摘记中写道：“如果使船停航，将长管的一端插入水中，而将管的开口放在耳旁，则能听到远处的航船”。国外把他作为第一个记载声在海中传播的人，并把该法喻之为被动声纳的雏型。我国伟大的医学家李时珍在本草纲目中对黄花鱼亦作过如下的描述：“每岁四月来自海洋，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。”两人所述的探测方法基本上相同。

从回声测距到探鱼仪的产生，在理性认识上曾作了很多准备。1827年Colladon和Sturm在日内瓦湖首次测定了声波在水中的传播速度，这是一件极其重要的基础研究工作。1840年焦耳对磁致伸缩的长度变化作了测定。四十年后居里等又发现了晶体的压电效应。1917年郎之万研究了压电效应并制成了石英—钢夹心换能器（郎之万型），配以当时刚问世的真空管放大器，在1918年首次获得潜艇回波。1925年制成实用的测深仪。在航测的实践中，海底记录上面有时出现可疑的回波，经证实原为鱼群，于是在测深仪的基础上不断改进，成为实用垂直探鱼仪。

在第一次世界大战中，德国的潜艇曾对英美的海上交通造成严重的威胁，Asdic 就是1918年英国一个反潜工作小组名称的缩写（Anti-Submarine Division-ics），现在英国和欧洲大陆地区把它作为回声定位系统的专用代名词。更普遍的名词声纳（Sonar）则是声导航和测距（Sound Navigation And Ranging）的词首的译音。使用声纳探测水下潜艇时，驱潜快艇曾把鱼群误认为潜艇而予以轰击，结果并未猎取到潜艇，浮在水面的仅是大批的死鱼而已。象挪威这样的海洋国家，在第二次世界大战后还正式派出驱潜艇用于探测鲱鱼的试验并取得成效。因为在民用上可以水平探鱼，故国外普遍地把安装在渔船上的水平探鱼仪称作“渔用声纳”。

测深仪与垂直探鱼仪、声纳与水平探鱼仪的差异首先在于后者以鱼群作为主要的探测目标。为此，回声探鱼仪中常设有不少辅助电路，诸如判别海底和鱼群的白线电路或两次相关电路；方便映象分析的扩展电路、传播损失的补偿电路和海底锁定电路等等。其次，探鱼仪的设计必须符合经济、实惠的原则，否则渔船是不会采用的。显然，测深仪将致力于提高探测海底的精确度，例如，要解决宽波束和机械传动所引起的测深误差就非易事；

而军用主动声纳为了提高在噪声背景中可靠地检测目标的能力，会不惜成本地采用复杂的讯号处理技术，诸如自适应波束的形成、目标的自动判决和跟踪等。

要学习和掌握回声探鱼仪，必须对声波在水中的一些基本物理现象有所了解。三十年代初期，由于不明水中声线弯曲现象而认为利用水声学来定位很不可靠；我国在试用探鱼仪时也由于未掌握使用技术而对它的作用有所怀疑。探鱼仪的设计、使用与海中回声的形成和传播等有关问题是密切相联的，现代探鱼仪面板上的控制旋钮越来越多，很多是针对海中某些声传播特征而设置的。所以掌握水声学的基础知识是极其重要的，故把它列为第一章，以便读者为学习以后各章打好基础。

回声探鱼是脉冲回波测距法在海中的应用，因而回声探鱼仪技术上的发展常借鉴于一些陆上的回波探测仪器，雷达是最典型的例子，连Sonar的取名也仿自Radar的。水声换能器相当于天线，特别在阵列理论上更是如此；在信号处理和终端显示方面也基本相同。不过，在波长与传播速度上两者相差很大，这使得声纳比雷达在设备上要庞大、信息处理上也要麻烦得多。

回声探鱼仪主要由换能器、收发讯机和指示器三部分组成，而电源则是保证各电路正常工作的基本动力。

换能器是完成水中电——声变换的重要部件，本书从材料、结构、特性和测试四方面予以阐述。换能器特性主要取决于材料和结构。性能优良的材料是提高换能器灵敏度、效率的基本前提，目前使用的仍为压电晶体、电致和磁致伸缩材料，探鱼仪中以镍、铁氧体和锆钛酸铅为主。目前新材料在不断出现，例如灵敏度高、可压延成大面积薄膜的压电高分子材料，以其占用的空间较小，很有发展前途。

常用换能器的型式有矩形和圆片形两种，前者由镍片或铁氧磁块迭成；后者用钛酸钡或锆钛酸铅晶片制成。为了增加辐射功率、提高接收灵敏度，以及改善方向性和实施对声束的控制等目的，常以基元排列组合成基阵，目前已在深海探鱼仪、多波束和渔用扫描声纳中广泛应用。随着探鱼仪性能的日益增高，换能器必然更多地采用基阵的结构形式。

长期以来，发讯机的任务只是产生供发射用的强功率（几十瓦—几十千瓦）电脉冲，而接收机的任务仅仅把几微伏的回波放大几百万倍而已。早期的发射机使用衰减波，正象初期的无线电报使用火花式振荡一样，早被人遗忘了。五十年代，发射机中才逐渐采用电子管产生的等幅波。六十年代，晶体管在接收电路中建立了自己的稳固地位。到了七十年代，大功率高反压晶体管也逐步地在迫使发射电子管退出功放阵地。现在千瓦级的发射机已能全部采用晶体管了，在性能上和经济上也已趋于成熟阶段。可以预期，八十年代中设计的国产探鱼仪，将全部集成电路化。本书收发讯机章节中阐述的是一些最基本的电路，不管电子器件由电子管转为晶体管或进而采用集成电路，这些电路的结构程序和工作原理基本上不会有多大变化。

海洋中的环境噪声、航行噪声和混响常把微弱的回波讯号淹没了，研究出来的许多讯号处理方法只能在军用声纳中实施。随着大规模集成电路器件的价格日益低廉和电子计算机技术的迅速发展，已能大量使用脉冲数字电路，以改善对讯号的发射与接收。

几十年来探鱼仪一直使用机械记录器，把鱼群讯号显现在干式或湿式的记录纸上，这种简便的一维扫描与垂直探测方式基本上相适应的，故至今仍把它作为主要的记录方式。机械记录器的运行速度低，纸上映象显示的信息量少，是它的两大缺点，也是多年来判读研究进展受到的主要障碍。五十年代末，在探鱼仪中往往附有A型显示，由于这种显示很难持久观察，实际上发挥不了多大的作用，故六十年代末出现了多针式记录，它兼有了笔录和电子扫描的优点，但电路复杂，近十年来仍未见大量推广。为了提高映象的信息量，曾有人研制能显示彩色的记录纸，未获成果。直到最近几年才出现了彩色探鱼仪，它用8（或16）种颜色在荧光屏上显示着回波的不同强度，因而比各种单色显示的信息量多。至于用记录纸来显示水平探测结果则更不理想了，因为记录笔运动的一维扫描，难以表达被测的三维空间。在荧光屏上作平面位置显示（PPI）比较适合，目前渔船上使用的多波束、扫描声纳大多是PPI方式。显示的电子器件仍采用阴极射线管，但是，为了与大规模集成电路相适应，低电压、小电流驱动的发光二极管、液晶、等离子体等显示器的进一步实用化并在探鱼仪中使用，已为期不远了。

一架设计完善、制作精良的回声探鱼仪，如果换能器等部件安装不当，不能根据海上实际情况正确地调节各控制器，或者缺乏映象判读的基本知识，那么，再好的探鱼仪也发挥不了助渔的作用。而不了解这些应用技术，也难以深入领会整机各部分电路的设计思想和实用功能。因此，本书中把安装、使用和映象判读作为探鱼仪的有机部分而分章阐述。

如果把电子管式的探鱼仪看作第一代，晶体管化的作为第二代，那么第三代的主要标志便是集成电路和计算机技术的采用。目前已生产的新型探鱼仪具有如下的一些特点：

（1）集成电路、计算机技术已应用到探鱼仪的各个部分：

在收发讯电路中用作讯号处理；在换能器基阵中对声束作实时的控制；在指示系统中储存信息和以数字或彩色显示信息量等。

（2）由单机向多机联合系统发展。

单波束的水平探鱼仪，如配用船上的计程仪、罗径和电子计算机，就能在荧光屏上显示出鱼群（大小、速度、方向、深度和距离）、船（速度、船向）和下网的相对位置，如用多波束取代单波束，则显示图象能更符合现场实况。

（3）随着新技术的发展，原有的一些概念正受到冲击。

普遍加大发射功率和整机体积日益缩小的结果，使得大、中、小型的概念开始瓦解，现在1千瓦成了各类新型探鱼仪的起始功率，而超过10千瓦的却也不多见。大型的落地式采用集成电路后成小型的台式机了。几十年来探鱼仪分垂直和水平两大类，这样的概念也正在起变化。以SS220型渔用扫描声纳为例：由于采用了规模较大的集成电路，体积仅 $29.2 \times 47.3 \times 55.9$ 厘米³；选用较高工作频率（160千赫），使换能器的直径仅19.3厘米，高44.4厘米，这样的体积，在小型渔船上也可安装。它的声束能在垂直平面内作 $+4^\circ$ — -90° 的俯仰；在水平面内作 360° 回转扫描。扫描波束能复盖整个海域，又能自动跟踪目标和储存映象，因而能满足多方面探测的需要。

探鱼仪的发展方向是侦察鱼群、信息判读和跟踪鱼群的全盘自动化。把被跟踪鱼群的

各项信息输至电子计算机，同时输入测得的各项环境因子和海况数据，就能在以海图为背景的屏幕上，用彩色显示出战术信息量，其中鱼群、渔船和海上其他目标间的相对位置，严格地与所显示海图的比例相一致。其速度（大小和方向）、航迹等运动要素，则以相应的数字标出，最后由计算机根据预先编制而储存的各套捕捞方案，选用最佳的方案下网，在显示器上可观察和监视整套程序的实施，直到进网的鱼群被拉向渔船为止。必要时也可以修改指令或用手动控制。

必须指出，回声脉冲法不是探索鱼群的唯一方法，随着对海洋各种物理现象认识的不断深化，特别是鱼群的活动与某些海洋物理现象的联系，如鱼群的集结和回游引起海面表层温度的变化；发光、发声现象以及鱼群赖以生存和活动的海洋生物、物理等条件的研究等，奠定了探索新颖探鱼方法的基础。最近几年来渔用遥感技术正在发展中。

我国在五十年代末开始试制回声探鱼仪，随后生产的61F、4X型曾在捕捞中发挥过积极的作用。六十年代末期，全晶体管的67型探鱼仪大量投产，及时装备了我国大批机帆渔船。今天，我国已有了性能可靠的各种型号的国产探鱼仪。但与国外先进技术相比还有差距，应努力提高。

第一章 超声探鱼基础

回声探鱼仪是利用回声原理探测鱼群的仪器，现在已普遍地认为它是探鱼的有效工具了。要学习和掌握探鱼仪，应该对鱼群和它赖以生存的海洋所具的一些声学特性有所了解。在渔业生产的发展中，对探鱼仪提出了愈来愈高的要求，结构日益精密复杂的探鱼仪，对使用人员亦提出了相应的高要求。目前电子计算机技术已迅猛地应用到新型探鱼仪内部的各个主要部分，使得面板上的控制旋钮愈来愈多，其中不少是针对海中声传播的一些物理特征而设计的，而没有一定的超声探鱼基础知识，要学懂和使用好探鱼仪是有困难的。

§ 1.1 声 波

1.1.1 声波与振动

声音是由生物的发声器官或机械振动等系统发生的一种物理扰动。每秒振动的次数称为频率，如某声源每秒振动 100 次，则其频率为 100 赫。人耳对声音频率能感受的范围约为 10—16,000 赫，超出这个听觉上限的声音称作超声。事实上，人的听觉对频率的响应是不同的，并且随着年龄的增长而有所降低，老年人 12,000 赫以上可能听不到了。通常以 16 千赫的声振动，作为超声的下限。

我们对自然界产生的声响，如风啸、雷击的物理音响，兽吼、鸟鸣的生物叫声，只能部分感受而已，蝙蝠飞行时发出的测距声音，其上限频率达 70 千赫。海洋中亦有类似的现象，如黄鱼，发出 125—4,000 赫的可闻声，而海豚发出的声音，则从可闻音一直延伸到 100 千赫以上的超声。

声源（如人的发音器官）振动时，声源处的空气分子亦受到激励而一松一紧，在自己的平衡位置附近作相应的振动，振动的空气分子又激动邻近的分子，依次传递而达到听者的耳朵，使鼓膜作出对应于声源频率的振动，经听觉神经达人脑而闻其声。所以声的传播离不开传递振动的媒介物质（如空气、水等），这种一松一紧的传播过程，就叫波动或简称为波。声在媒质内的传播过程就叫声波。

声波在海水中通过海水分子的振动而传播，在固体中亦有这样的传播方式，由于从声源传到入耳要有一定的时间，故声的传播具有一定的速度，称为声速。随着介质密度的不同，声在其中传播的速度是不一样的。液体中的声速大于气体而小于固体，例如海水中声速约为 1.5×10^5 厘米/秒，空气中仅 0.331×10^5 厘米/秒，钢中达 5.8×10^5 厘米/秒，在鱼体内约为 1.6×10^5 厘米/秒。

1.1.2 声波的波长和强度

探鱼中常用的超声频率为 20—200 千赫。以 50 千赫言，每秒振动 5 万次，振动一次即完成一个振动周期，需要 2×10^{-5} 秒，在这个时间内，声波在海水中传播了 3 厘米，这个距离称为 50 千赫超声波在海水中的波长。所以波长是在声波一个周期中传播的距离，波长 λ 、声速 c 、频率 f 和周期 T 有如下简单关系：

$$\lambda = cT = \frac{c}{f} \quad (1.1.1)$$

波长是重要的声学量，在传播过程中，如果遇到障碍物，根据与障碍物尺寸相比，随波长的长短，声波有不同的传播现象。

声源振动或声波在介质中传播时，有力作用于介质的质点，我们把垂直于声波传播方向的，介质单位面积上受到的力称作声压力，简称声压。〔厘米·克·秒〕制中，声压的单位为微巴，1 微巴就是每平方厘米面积上受到 1 达因的力，这是声学上最基本的单位，亦是声学测量和比较大小时常用的参考值。〔米·千克·秒〕制中，声压的单位为帕，1 帕就是 1 米²面积上受到 1 牛顿的力，所以 1 帕 = 1 牛顿/米² = 10^5 〔达因〕/10⁴〔厘米²〕 = 10 微巴。

声波的传播实质上是能量的传递，但在运动着的物质世界上，存在着时间和空间的现实性，只有联系时间和空间，才能客观地反映物质的运动。我们把单位时间内传递能量的能力称作声功率，并把在传播方向上流经单位面积的声功率称为声强。声强 I 和声压 p 有下列关系：

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \times 10^{-7} \quad (1.1.2)$$

上式中力的单位为微巴（1 微巴 = 1 达因/厘米²）， I 的单位为瓦/厘米²。

已知海水中的声速 $c = 1.5 \times 10^5$ 厘米/秒

海水的密度 $\rho = 1.025$ 克/厘米³

代入式(1.1.2)得

$$I_0 = \frac{1^2}{1.025 \times 1.5 \times 10^5} \times 10^{-7} = 0.65 \times 10^{-12} \text{瓦/厘米}^2$$

I_0 就是声压为 1 微巴的平面波在海水中的声强

1.1.3 声级

当人大喊一声时，离他嘴唇 30 厘米处，平均声压大约为 5 微巴，可是用超声探鱼时，就以声功率不大的 67—2 型探鱼仪来说，离换能器 100 厘米处，平均声压大约有 10^5 微巴。其他如声功率和声强等，数值范围亦是拉得很开的，这样给表达、计算和对比都带来不便。

习惯上取其对数式表示，称为各该参量的声级，声强级 L 就是声强比值 $\frac{I_2}{I_1}$ 取常用对数，

当 $I_2 = 10I_1$ 时，声强级差为 1 贝尔，由于贝尔单位较大，常用分贝作计量单位（1 贝尔 = 10 分贝），故对数式前要乘 10 得：