

2. 岩石衰减谱

英安质含角砾熔凝灰岩的衰减谱如图 5 中曲线 $\alpha(f)$ 所示(试件直径为 $\phi 113\text{mm}$, 长度 L 分别为 30.56mm 和 97.63mm)。随频率增加衰减加大。

由于长短试件相差 $\Delta L = 67.07\text{mm}$, 换能器声场衍射损失不同, 考虑换能器声场影响进行衍射修正^[1-2], 修正后的衰减谱为 $\alpha'(f)$ 。由图可明显看出, 考虑了衍射效应产生的那部份衰减后, $\alpha'(f)$ 比未修正的 $\alpha(f)$ 减小许多, 因而在精确测量时, 换能器声场的衍射效应是不能

忽略的, 应加以修正。

由上述岩石声波频谱分析的初步试验研究可知: 岩石超声谱反映了岩石特性, 声谱技术是一种新而有效的测试技术, 在岩石力学领域中有其广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Fitting D. W., Adler L., Ultrasonic Spectral Analysis for Nondestructive Evaluation, Plenum Press, New York, 1983.
- [2] Khimunin, A. S., *Acustica*, 27-4(1972), 173—181.

声波技术用于水库拦鱼的探讨

田 忠 仁

(国营六一二厂)

1989 年 2 月 27 日收到

我国淡水鱼养殖发达, 近年来发展迅速。全国可饲养鱼的水库有 8 万多座。每年在水库溢洪季节发生大量逃鱼。本文用电火花声源做了声波拦鱼的实验, 在实验室及水库中模拟溢洪情况, 声波拦鱼均具有明显效果。从社会和经济效益来看, 声波技术用于水库拦鱼, 是一项很有开发前景的课题。

一、引 言

本文论述了鱼类对声波的听觉特性。并在试验室条件下初步验证了家鱼的声行为。文中叙述了用水下火花声源在渠道里模拟水库溢洪情况, 对家鱼进行拦鱼实验。实验证明, 用声波方法拦鱼有较好效果, 与其它方法相比其优点明显。

我国淡水鱼养殖发达, 近年来发展迅速, 经济效益增长很快。全国可饲养鱼的水库有 8 万多座。每年在水库溢洪季节引起大量逃鱼。现有水库拦鱼设施多数仍采用竹箔和网拦, 这些设施常被洪水冲毁。近年来少数水库安装了电栅拦鱼设备。由于工程投资大, 安装环境受限制, 电栅的电场阈值选择困难, 有效作用范围小等系列问题, 因此电栅拦鱼还不能普遍使用。为

应用声学

此, 在水库拦鱼方法中另辟途径有现实意义。

物理场(电、声、光)对鱼类效应的研究自十九世纪末就已开始。其目的在于揭示物理场参数和鱼的生理状况之间的某些定量关系, 由此开创在渔业工程上应用物理场的可能。下面简单回顾一下声场对鱼类效应的研究与应用。

研究表明, 鱼能够听到低频声音。因此有人利用声音诱鱼从而提高捕捞效率。日本人已研究了一种装置, 它在水中发出预先录制好的鲫鱼和青花鱼捕食声。在声压级为 22dB 时, 鲫鱼会从水下 50m 至 80m 处上浮到 10m 至 15m 吊放声源处, 青花鱼会从 40m 至 80m 处上浮到 5m 至 17m 处。从而适合捕捞和垂钓^[1]。

与声波诱鱼相反, 当声波的声压大于某一数值时, 声音会对鱼起到威吓作用, 从而达到驱鱼的目的。在文献[1—2]中报道了日本曾经用威吓声驱赶海豚以保护渔场; 美国 J. G. Van.

Dernalker 利用声波威吓作用引导鳊鱼到安全水域。其装置见图 1。他用 10 块板状声源排列在 10 呎 (1 呎 = 0.3048m) 宽的主水道上, 在它之侧设置 5 呎宽的旁水道。当声源以 270Hz

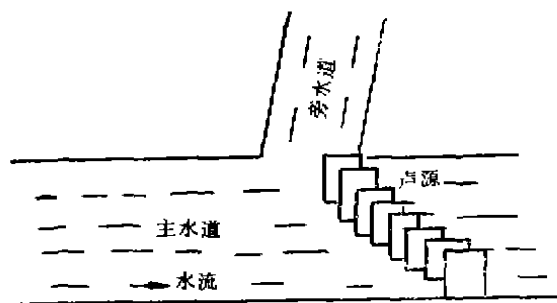


图 1 声学方法威吓鱼的装置

振动并在 1 呎处产生 23dB 声压级时, 有 77% 的鱼通过旁水道。而没有声波作用时仅 33% 的鱼通过旁水道。

许多研究工作证实, 鱼能够收听声波, 尤其是低频声波。利用这个特性可以在渔业工程上加以利用。

二、鱼的听觉器官以及声对鱼的威吓效应

鱼的听觉器官由三部分组成, 即鱼耳中的小脑; 分布在鱼体侧中央的侧线; 起听觉辅助作用的鳔。

鱼耳的构造比人耳简单^[2]。其内耳由两部分组成: 上部分是支持平衡感觉的半规管; 下半部分是由三个袋状东西组成, 分别称小脑、壶脑、通脑。各脑内壁有敏锐的感觉细胞, 并且充满了淋巴液。接收声波主要在小脑进行, 它是通过耳石的振动刺激感觉细胞。

侧线是鱼的重要听觉器官。一般能听到 100Hz 以下声波。它是水压、水流等机械刺激的感受器。

鱼鳔是鱼类特有的器官。它能发声、调节比重、还能起听觉的辅助作用。外界声波传来时, 鳔就产生压缩和膨胀。对骨鳔类的鱼, 如鲤、鲢和金鱼等, 它们的鳔与内耳通过韦伯氏心

骨和四块骨头连结。有的鱼是通过鳔的前端伸出一细长管子到达内耳刺激感觉细胞。也有许多鱼的鳔与内耳没有联系, 因此听觉就差些。图 2 表示多种鱼的内耳与侧线的听觉特性差别。从图中可以看到, 侧线感受低频范围, 200Hz 左右有最好感度。内耳感受高频范围, 500Hz 左右有最好感度。

鱼对声波传播方向判断比较差, 因为水的声速是空气的 5 倍。加上鱼头小, 因此双耳效应就很差了。这样就难于判断方向。所以要找到声源位置就表现为时而游向声源, 时而游离声源。

在鱼类中, 骨鳔鱼(鲤、鲢、金鱼等)听觉较好, 在 200—1000Hz 频带内, 其听感度比其它

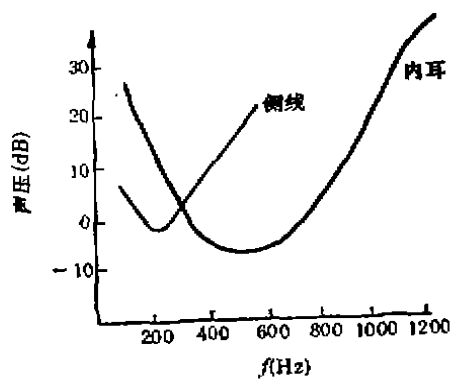


图 2 侧线、内耳听觉特性

鱼高出 10—100 倍。200Hz 以下听感度变化缓慢, 2—3kHz 以上听觉急剧下降。海豚有最好听感度, 它是骨鳔鱼的 10 倍左右。

引言中曾提过, 当水中声音强度大于某一数值时会使鱼群受到惊吓逃散, 从而起到驱赶作用。日本富山良己在实验室中对骨鳔鱼作了声威吓研究^[3]。由实验得到了鱼的威吓反应率与水中声波特性的关系 (见图 3)。威吓反应率是指产生威吓反应次数与总的实验次数之比。

从图 3 可以看出, 能产生威吓反应的声压值与声波频率关系极为密切。以 300 Hz 为界, 在 150—200Hz(a) 部分, 500—900Hz(b) 部分都有较好的敏感区。

富山良己还研究了不同频率下, 威吓反应与声波持续时间关系。他发现在 200Hz 以下,

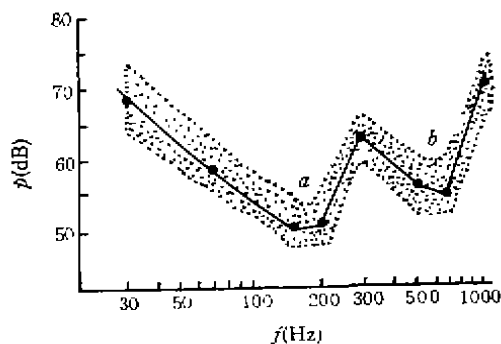


图3 引起50%惊吓反应的声压值与频率关系

鱼的惊吓反应与声波持续时间没有关系。而在300Hz以上,声波持续时间长,鱼的惊吓反应就比较些。

三、我们的实验室试验

1985年,六一二厂、无锡太湖淡水渔业研究中心和中科院南京地理研究所共同开展“水库拦鱼”研究课题。曾对家鱼(鲤、鲢、鳙、草鱼)在六一二厂消声水池进行了声行为实验。实验装置如图4所示。用角钢做了一个长4m宽2m高1.5m的长方体框架,它的六个面是用尼龙细网围成。低频声源放在网架端头。然后把框架放到消声水池中。鱼在网中自由活动。

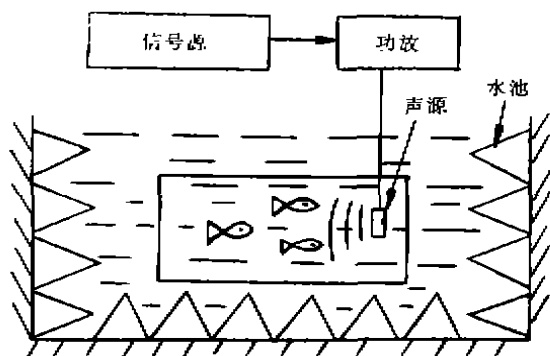


图4 试验装置

实验前把鱼预先放在网中静养。参试的鱼有白鲢、花鲢、青鱼、草鱼、鲤鱼、鲫鱼和罗非鱼。鱼的个体从0.1—2.5kg不等。实验在夜间进行。发射的声波波型有正弦波、锯齿波、对称方波、不对称方波。发声时间采用间断与连续两

应用声学

种。换能器谐振频率1.1KHz,带宽300Hz,施加到换能器上电功率100W。经多次重复实验,其部分结果见表1和表2。

表1 正弦波实验

频率(kHz)	声源电压(V)	声持续时间(s)	反应情况
0.70	100	60	无反应
0.80	100	60	聚拢趋向
0.90	100	60	反应明显
1.00	100	60	有反应
1.10	100	60	无反应

从我们初步实验证实,家鱼在800—1000Hz范围内有较明显反应。而且长间歇声比连

表2 方波、锯齿波实验

频率(KHz)	5个脉冲组	10个脉冲组
0.80	无反应	无反应
0.90	先绕声源转游后离开声源	离声源而游
1.00	追踪声源趋向	停在声源前方约1.5m处
1.10	无明显反应	无明显反应
1.20	无反应	无反应

续波或短间歇声反应要大些。由于受到声源条件、实验环境和观察条件限制,这个实验还不充分。但是初步验证了图3曲线中高频端部分情况。这为研制工程上实用的声学拦鱼器找到一定的理论根据。

四、声拦鱼器研制与它的实验

综合国内外学者研究成果和我们的初步实验,可以推论:要想用声波阻拦水库溢洪逃鱼,就要研制低频、宽带和大能量脉冲式声源。近代电声学已发展了多种用于液体中的低频脉冲声源。如汽枪声源、电磁声源、挤压声源和电火花声源。其中电火花声源是一种常用的声源。我们在研制拦鱼器中选用了这种声源,它的优点是能量大、低频特性好,频谱宽、电声转换效率

比其它几种高,脉冲波形重复性好,它还具备作安全、成本低、无环境污染,能实现自动控制等。

电火花声源的基本原理是利用贮存在高压电容器上的电能,在瞬间向水中正负电极放电,此时在电极周围的水介质被击穿,迅速受热气化形成以水气为主的气泡。这个气泡不断膨胀发射出激波脉冲,直到内部压力小于外部压力才开始收缩。这时内部压力又随着增大直到不能收缩,气泡又从收缩转入膨胀。此时发射出第二个压力脉冲(称第一气泡脉冲)。这样由动能、势能周而复始地转换直到能量耗尽为止。

电火花声源是一部高压大电流换能装置。

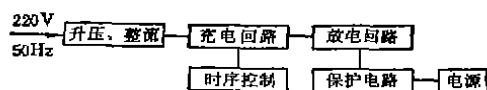


图5 电火花放电系统原理图

它由高压整流电路、充电回路、放电回路、时序控制电路和安全保护电路组成。其原理框图如图5所示。我们研制的火花放电声源,由220V交流电经升压变压器升压,高压硅堆整流得到3000V直流高压。然后向电容器充电到3000V高压,约270J电能。接着由时序控制电路以10s间隔时间打开放电回路中的一个高压开关,向水中四个火花电极中一个放电,使其产生声脉冲。当机器发生故障时,关断电源,此时贮存在电容器上的电能通过保护电路自动泄放,时间约2min。同时放电回路中的高压开关与水下放电电极自动切断,从而确保设备和人身安全。有关水下火花放电声源的设计参数选择原则可参考文献[3—5]。放电声源的声辐射频率特性的分析可参考文献[3—6]。

火花声源的频谱特性对拦鱼器的效果起着重要作用。在前面已说过,鱼类对声波比较敏感的频率范围在100—1000Hz,少数鱼可以更高些。因此在设计火花声源时,要充分注意到哪些因素会影响声源频谱特性。这方面需要一些理论估计。更主要是通过实验来设计放电电极结构形式。我们用在拦鱼器上的火花声源,

其频谱特性如图6所示。测试时,把火花放电电极放在水下3m的开阔水域中,放电产生的声脉冲用标准水听器 and BK3347 1/3倍频程分析仪实时显示声压频谱级。从图中可以看到火花声源在水中发射的声脉冲,其声压从40至

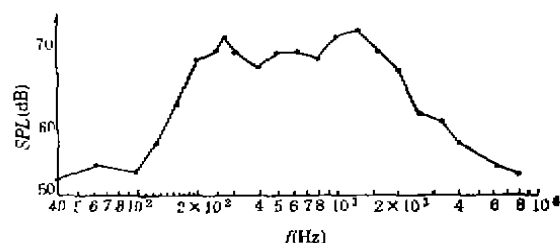


图6 实测实时1/3倍频程声压频谱级

8000Hz都有分布,在150至2500Hz内有很高的声压级。因此该声源的频谱覆盖了绝大多数鱼类可听觉范围。火花声源的其它电声参数见表3。

表3 电火花声源的电声参数

电极 No.	电能 (J)	工作电压 (kV)	轴向声压 (dB)*	电声效率 (%)
1	173	2.4	89.4	18.4
2	173	2.4	91.0	26.2
3	173	2.4	89.3	18.4
4	173	2.4	90.5	23.7

* 轴向声压指离声源1m处峰-峰值,参考级0dB = 1 μ Pa/V。

为了验证拦鱼器拦鱼效果,于1986年9月10月两次在宜昌县官庄水库渠道,以模拟水库溢洪进行了对家鱼的拦鱼试验。对这两次试验全过程有详细录相资料。试验场地和布置如图7所示。拦鱼器见图8照片。试验开始时,拦鱼器不工作。此时375条大小不同的各种家鱼从下游逆水而上,而且通过拦鱼器到上游鱼网处。然后用人工方法将鱼群赶到拦鱼器下游。此时拦鱼器工作发出声脉冲,经过45min观察,仅3条小鱼及一条约500g的鲤鱼通过拦鱼器向上游游去,其余大部分都在拦鱼器下游5至25m处来回游动。然后关闭拦鱼器半小时,仍未见下游鱼群向上游游去。为了验证鱼对声波的掩蔽效应,我们连续起动拦鱼器工作3小时,鱼群始

终处在离拦鱼器 25m 至 30m 之间回游。说明在高声级中,鱼类对声波听觉的掩蔽效应不明显。我们分析认为,在高声级作用下,使鱼感到不适,因此远离声源。但是这些问题有待进一步探讨。对这两次试验,所有参试单位都认为声波拦鱼效果明显。

1988 年 8 月,我们获悉安徽省定远县桑涧

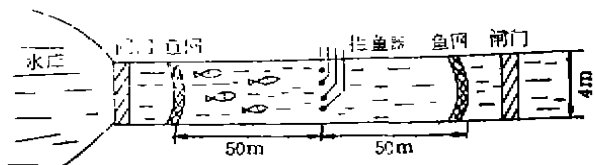


图 7 试验场地布置



图 8 SLY-1 电子声响拦鱼器

水库放水。因此在该水库放水涵洞又作了一次拦鱼试验。这次实验证明,拦鱼器对顺水逃鱼有阻拦效果。在此说明一点,在宜昌县官庄水库渠道中两次试验都是对鱼群逆水而上情况。据说这种拦鱼效果与洪水逃鱼有些区别。只有顺水而下的鱼才与溢洪逃鱼情况相似。实验中不足之处是未能在水库溢洪现场做一次试验。因为这个机会不容易得到。

五、结 束 语

用声学方法进行水库溢洪拦鱼的研究一旦付诸应用,其优点很多,设备费用、安装费用低廉,现场施工方便,使用安全,可靠,不影响水库、湖泊通航。由于声波在水中传播距离远,因此声波拦鱼的有效作用范围大。这些优点是电栅拦鱼无法比拟的。我们的工作仅仅迈出了一步,还有许多理论课题,技术问题有待进一步深入研究。

该项研制工作得到水电部南京水科院王亚平、杨裔轩;南京地理研究所王淑惠;水产科学院淡水渔业研究中心刘其哲;还有国营六一二厂陈斌,张瑞贤,周乐宝,隆庆福等同志的支持与合作。

参 考 文 献

- [1] 王余君,声学进展,3(1982),31—36.
- [2] 富山良己,水产技术与经营,4(1984),161—176.
- [3] 凌鸿烈等,声学技术,2-1(1983),15—20.
- [4] 凌鸿烈等,海洋技术,2(1982),44—54.
- [5] 陈家川等,声学进展,4(1983),38—40.
- [6] David. D. Caufied, *Deep-Sea Res*, 9(1962), 339—348.