

船舶水下噪声传播特征研究

刘轶杰¹, 薛洁¹, 周成成¹, 李明^{1,2}

(1. 长江航道勘察设计院(武汉)有限公司, 湖北 武汉 430042; 2. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430042)

摘要：船舶航行产生的持续水下噪声可能会对水生生物的生存和繁衍造成一定影响。为掌握船舶水下噪声传播特征及声暴露级变化, 本文选取洞庭湖区货运船舶作为研究对象, 对不同时期、不同船舶的水下噪声开展监测, 采用实船测量分析洞庭湖区水下噪声衰减特性。通过实验数据获取的水下噪声衰减系数和船舶声源级特征, 分析得出洞庭湖船舶水下噪声衰减公式, 并根据该公式对船舶的水下噪声进行了模拟, 结果显示, 洞庭湖区船舶噪声的声源级一般不大于 162dB re1 μPa; 考虑 5s 暴露时间, 正横距离大于 20m 时, 声暴露级小于豚属类损伤阈值; 船舶间距小于 200m 时, 其声暴露影响程度将会扩大, 本文研究成果可为船舶水下噪声分布规律研究, 以及水下噪声管理措施提供科学依据。

关键词：洞庭湖区; 船舶水下噪声; 噪声衰减特性; 水下声暴露影响

中图分类号: O427.5 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2025) 15—0144—04

随着洞庭湖区航运的不断发展和建设, 航运活动不断增加引入了大量水下噪声, 这可能会对主要依靠声信号及听觉进行捕食、交流、定位等活动的长江江豚带来不利影响。Popov 等^[1]发现长江江豚持续暴露于高强度、长持续时间下的噪声环境中会产生暂时性听力阈移。此外, 董首悦^[2]的研究表明, 当有船舶经过时, 长江江豚的发声频次显著降低。大型船舶航行噪声以中低频噪声为主, 穿透力强、衰减慢, 因此长江江豚因长时间暴露于高强度噪声中可能造成听力损伤^[3]。鉴于此, 本研究旨在采集并量化洞庭湖区大型船舶的航行噪声情况, 并分析其水下噪声衰减规律, 同时模拟不同情境下的船舶水下噪声暴露情况, 来为制定水下噪声管理措施提供科学依据。

1 研究方法

1.1 监测区域及对象

监测区域为洞庭湖湖口扁山段, 处于岳阳市东洞庭湖江豚自然保护区的扁山核心区。该区域航运繁忙, 不同类型船舶之前的噪声干扰影响较大。监测对象为各类营运货船船舶, 如货船、集装箱船、快艇和油船等共计二十余艘。

1.2 数据采集与处理

数据采集船为芜湖大江造船厂于 2009 年 12 月建造的“航道 08202”测量船。

监测期间(平水期 2023 年 8 月中旬), 在趸船处

放置 RHSA-10 水听器两只, 深入水下 6m 和 9m 深处进行记录。数据采集时用 GPS 记录采样点位置, 水听器记录被测船舶的运行、停止的声学信息, 采用激光测距仪实时测量船舶的距离。

测定洞庭湖水下噪声衰减特性时, 被测船舶按照直线航行且保持距离观测点最近的垂直距离为 100 米。被测船舶到达开始测量位置时需开机并匀速航行。在船舶航行过程中, 设备运行状态需保持一致, 航行保持直线, 保持航行至离观测点 250m 结束测量位置。对被测船舶需要左、右舷各进行不少于 1 次测量。

1.3 技术方法

1.3.1 水下声传播衰减计算

浅水中声传播是比较复杂的, 不同的传播距离上, 其传播损失遵循不同的规律。Marsh 和 Schulkin^[4]根据在 100Hz 到 10kHz 频率范围内约 10 万次测量, 通过不同的距离参数概括得到 $r < R$ 、 $R \leq r \leq 8R$ 和 $r \geq 8R$ 三个距离段上的 TL 半经验公式。对距离参数的计算如下所示:

$$R = \left[\frac{1}{8}(H+L) \right]^{1/2} \quad (1)$$

式中, H 为水面深度 (m); L 为浅水表面的混合层深度 (m); R 为距离参数 (m)。

由于本次在洞庭湖区进行水下噪声测试, 测量时湖水平均深度 $H=10m$, 船舶最远距离 $r=500m$, 无混合层, 故 $L=0$, 代入公式 (1) 可得 $R=1.11$, $r \geq 8r$, 所以本次的半经验公式为:

$$TL = 10 \lg(r) + \alpha r + a_T \left(\frac{r}{H} - 1 \right) + 10 \lg H + 64.5 - k_L \quad (2)$$

式中: r 为水平距离 (m); α 为水吸收系数 (dB/m); k_L 为近场传播异常 (dB), 它与天气和水底的类型有关; a_T 为浅海衰减系数 (分贝), 它与天气和水底的类型有关。

由于上述公式可用于海水浅水区域的声强船舶衰减规律, 相关参数不适用于洞庭湖区, 所以本次将公式 (2) 进行简化, 如下所示:

$$TL = 10 \lg(Br) + C \quad (3)$$

传播损失 TL 定量地描述了声波传播一定距离后声强度的衰减变化, 它可定义为:

$$TL = 10 \lg \frac{I_1}{I_r} \quad (4)$$

式中, I_1 是离声源等效声中心 1m 处的声强度; I_r 是距声源 r 处的声强度。上式定义的传播损失 TL 值将为正值。

根据上述公式可得: $SPL(\text{声压级}) = SL(\text{声源级}) - TL$ 。进一步简化的:

$$SPL = SL - 10 \lg r - Br - C \quad (5)$$

1.3.2 水下声暴露级计算

声暴露级是声音暴露相对于参考值的对数量度, 指超过一秒钟的时间内采集的噪声测量值的平均值, 是由人为水下噪声信号声压幅度平方与基准声压平方之比在持续时间内积分得以 10 为底的对数乘以 10 计算所得。

单个信号计算方法:

$$SEL_{ss} = 10 \log_{10} \left(\frac{\int_T p(t)^2 dt}{P_{ref}^2 t_{ref}} \right) \quad (6)$$

式中: T 是信号时间, 单位为秒 (s); $p(t)$ 是声压 (Pa); dt 是以时间为变量的微分因子, 单位为秒 (s); P_{ref} 是基准声压, $1 \mu\text{Pa}$; t_{ref} 是基准积分时间, 为 1s。其中:

$$SPL_{rms} = 20 \log_{10} \left(\sqrt{\frac{1}{T} \int_T p(t)^2 dt} \right) \quad (7)$$

将 (6)、(7) 两式合并可得:

$$SEL_{ss} = SPL_{rms} + 10 \log_{10}(T) \quad (8)$$

1.4 数据处理

用 Matlab 软件对截取的声信号进行进一步的校准与分析。分析的声学参数包括峰值声压级 (SPL_{p-p} , 单位为 dB re $1 \mu\text{Pa}$) 和均方根声压级 (SPL_{rms} , 单位为 dB re $1 \mu\text{Pa}$)。相关的计算公式为:

$$SPL_{p-p} = 20 \times \log_{10}(|P_{p-p}|/P_0) \quad (9)$$

式中, P_{p-p} 为实测单脉冲的最大和最小瞬时声压的差值, 单位 Pa ; P_0 为基准声压 $1 \mu\text{Pa}$ 。

$$SPL_{rms} = 10 \times \log_{10} \sqrt{\frac{1}{T} \times \int_0^T P(t)^2 dt} \quad (10)$$

式中, T 为信号时长, $P(t)$ 为 t 时刻的声压, 单位 Pa 。

2 结果与分析

2.1 洞庭湖区水下声音传播损失特性分析

为了研究洞庭湖区水下噪声衰减规律, 采用 origin 软件将测量所得的船舶声压级和对应的距离的数据用公式 (5) 拟合, 拟合得出船舶水下噪声衰减曲线如下图 1 所示:

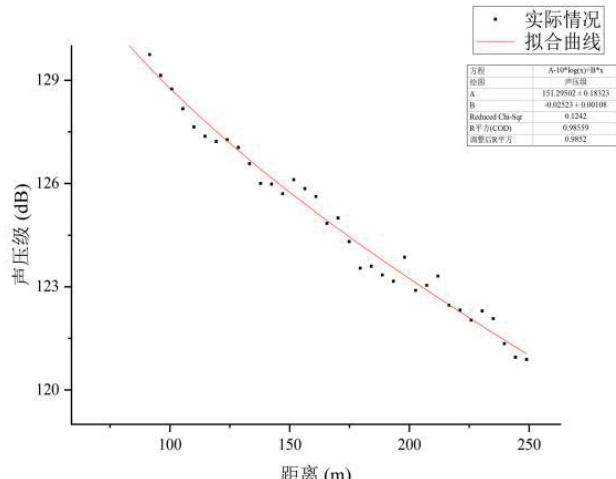


图 1 船舶声衰减曲线图

可以看出船舶噪声在距离的传播上有明显的衰减趋势, 船舶从距离测点 100m 远离至 250m 时, 由 130dB 衰减至 120dB。同时也可看出实测数据以公式 (5) 拟合情况良好, 得出的拟合公式为: $SPL = 151.30 - 10 \lg r - 0.025r$, $r=0.99$ 。

2.2 洞庭湖区船舶声源级统计与分析

根据计算所得的船舶声压级数据结合公式 (11) 可算出的洞庭湖区各船 (典型) 声源级情况如下表 1 所示:

表 1 洞庭湖区船舶声源级特性

船名	声源级 (dB)	船名	声源级 (dB)	船名	声源级 (dB)
鄂襄阳顺达 8598	151.64	鄂潜江货 0520	152.52	荆楚 802	146.65
快艇	157.23	明远领航	151.16	湘金和 206	149.99
赣九江货 1200	162.36	中快艇	150.74	苏中油 018	151.10
交通执法船	158.41	三湘号	154.35	国祥 968	157.74
岳湘阳油	149.02	湘怀化货 1668	152.58	祥顺 8288	154.08
湘岳阳油 1589	150.24	乐航 8 号	144.98	兴中油 189	148.85

根据表1得知,船舶噪声的声源级分布范围为144.98~162.36 dB re 1 μPa,其中声源级最低为乐航8号的144.98 dB re 1 μPa,最高为赣九江货1200的162.50 dB re 1 μPa,平均声压级为152.83 dB re 1 μPa,通过统计分析,94%船舶声源级都小于160dB。其中大部分船舶声源级范围处于148~156dB,大于160dB的船舶仅有3艘。

根据张天赐^[3]和李栋^[5]对长江和畅洲江段大型船舶的声源级噪声(平均值为153dB re 1 μPa)和镇江长江豚类省级自然保护区的船舶声源级(平均值为158dB re 1 μPa)的分析数据,可以看出本次调研的船舶声源级情况趋于一致。

2.3 洞庭湖区船舶水下噪声暴露级模拟分析

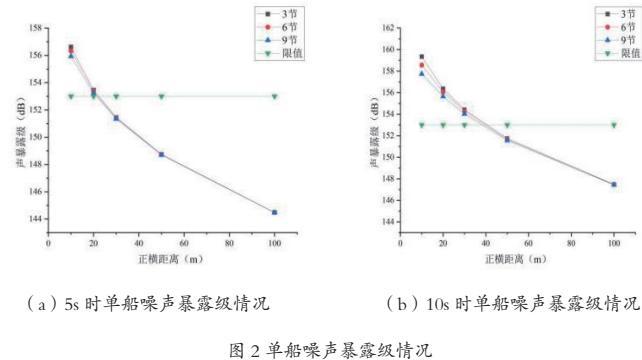
为了保守估计洞庭湖船舶水下噪声的对江豚的暴露的影响,选取本次测量的声源级上限来调整根据声衰减公式(11),得出模拟计算的声衰减公式,即:

$$SPL=160-10lgr-0.025r \quad (11)$$

公式(11)可模拟得出洞庭湖区船舶水下噪声的声场分布特征,结合公式(8)可分析出不同情境下离声源处不同距离下的声暴露影响情况。最后根据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T0341-2022)中提到对长江江豚造成暂时性听力影响时的SELcw=153 dB作为依据,可得出不同情境下船舶噪声对江豚造成听力损伤的影响距离。

2.3.1 单船水下噪声暴露级模拟分析

为了测定单艘船舶水下噪声的影响程度,假定船舶以3节、6节、9节的速度笔直行驶,且行驶途中观测点距离船舶正横距离为50m、30m、20m、10m,并根据已有文献^[6]的分析方法,计算5s、10s下的噪声暴露情况。



(a) 5s时单船噪声暴露级情况 (b) 10s时单船噪声暴露级情况

可以看出在短时间的暴露影响下,不同船速下的声暴露级变化幅度较小,声暴露级随正横距离的增加而减少。在5s的暴露时间下,正横距离大于20m左右时声

暴露级小于153dB,10s的暴露时间下,正横距离大于40m左右时,声暴露级小于153dB。

2.3.2 多船属下噪声暴露级模拟分析

为了探究不同航行密度下的声暴露级情况,我们假定有两条相距40m的航线,其中一条航线有2艘声源级为160dB,间隔为100m、200m、300m、400m和500m的船舶,以相同的速度沿下游笔直行驶。另一条航线有2艘相同情境的船舶沿上游行驶,此时记录5s和10s内的声暴露级情况。

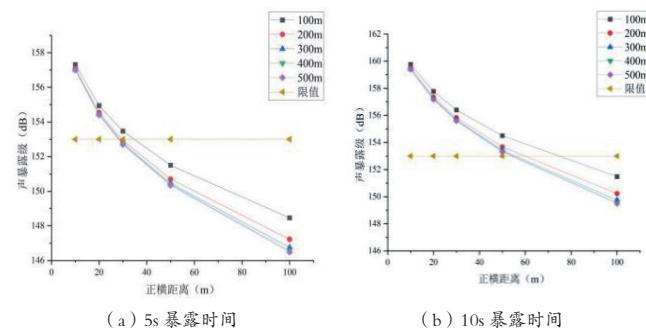


图3 多船情境模拟示意图

由图可知,在不同的暴露时间和船速下,不同船距下的声暴露级变化情况大致相同。在5s的暴露时间下,当正横距离大于30m时多船叠加的声暴露级小于153dB,在10s的声暴露时间下,正横距离大于80m时多船叠加声暴露级小于153dB。对比不同船距的声暴露级变化幅度可看出,在船距由200m减少到100m时声暴露级增加幅度最大(5s时的增幅为1.24dB,10s时的增幅为1.26dB),这说明当船舶间距在200m以下时,多船叠加后的声暴露影响程度将会扩大。

3 结论

通过对洞庭湖各类营运货船船舶水下噪声开展的监测,得到以下结论:

(1)根据洞庭湖船舶水下噪声监测的结果,发现船舶噪声的声源级范围为144.98~162.36 dB re 1 μPa,本次调研的船舶声源级情况与其他研究结果相吻合。

(2)通过模拟不同情境下洞庭湖区单船和多船行驶的水下噪声特征,发现单船分别在5s、10s的暴露时间下,当正横距离分别大于20m、40m时,声暴露级小于153 dB re 1 μPa。而多船分别在5s、10s的暴露时间下,当正横距离分别大于30m、80m时,多船叠加声暴露级小于153 dB re 1 μPa。这表明多船的噪声会造成更大的

基于物联网技术的信江智慧航道系统设计

吕果

(长江航道测量中心，湖北 武汉 430000)

摘要：物联网技术给航道维护作业带来的变革是巨大的，促使数字航道向智慧化发展和变革。目前，我国智慧航道处于起步阶段，为了促进智慧航道发展，基于物联网技术设计了信江智慧航道应用系统。文章介绍了信江航道，智慧航道和信江智慧航道的概念，从物联网体系结构的角度进行构思，设计了基于物联网技术的信江智慧航道系统架构。该架构包括进行信息采集的感知层，用于信息传输的网络传输与计算资源层，用于数据标准化处理的数据资源层，对应用功能进行支持的应用支撑层，负责指挥的业务应用层。业务应用层以航道运行管理平台、航道信息服务平台连接应用层中各个子系统和支撑子层，进行信息交换和共享，实现信息资源整合。从而实现对信江航道的全面感知、实时监控、智能管理和高效服务。该应用系统架构可为信江航道管理和服务实现智慧化提供技术参考模型和可借鉴的思路。

关键词：信江航道；智慧航道；信江智慧航道；物联网技术；系统架构

中图分类号：U675.79

文献标识码：A

文章编号：1006—7973 (2025) 15—0147—03

信江是江西省境内较大的河流之一，其航道具有重要的航运价值。“十三五”以来，江西省投入航道建设资金，信江高等级航道规划项目落地，基本具备三级通航条件。2022年江西省委、省政府在过去几年出台了一系列利好政策，加快推进“一纵两横”（长江江西段、赣江、信江）高等级航道建设，为信江航道的发展奠定了基础。到2023年，赣江、信江航道实现三级通航，航道沿线“两主五重”现代化港口体系基本形成。

将物联网技术应用到航道管理与对外服务中，让航道维护作业与对外公共服务智慧化，可为信江航道管理与服务插上科技魔力的翅膀，让管理者更加直观地对航标、尺度、水位、通航净空高、船舶等航道要素进行动

态监测与维护管理，让船企更好地享受电子航道图的导航服务。这样可使信江航道对内管理与对外服务的所有环节融合相通，提升航道维护作业水平与对外公共服务能力，不断提高航道的航运价值，让智慧航道成为提升航运价值的新动能并且为航道维护作业与对外服务提供平台和环境。

1 信江智慧航道概述

1.1 信江航道

航道是在江河、湖泊、海洋等水域中，供船舶安全航行的通道。通常具有一定的宽度、深度和弯曲半径等要求，以适应不同类型和大小的船舶通航。航道的条件包括水深、水流、河床地形、助航设施等。良好的航道

影响，而且当船间距小于200m时，其声暴露影响程度将会扩大。