

# 长江江豚声信号特征分析与栖息地声景监测探究

常思婕

南通科技职业学院 江苏南通 226000

**摘要：**长江江豚是长江流域仅存的淡水鲸类，其生存状况与长江生态系统健康息息相关。声信号是江豚进行环境感知、信息交流与生活动的重要媒介，而栖息地声景特征直接影响其生存质量。本研究聚焦长江江豚声信号特征及其栖息地声景监测，通过系统梳理其声信号分类、功能与发声规律，结合栖息地声景构成要素及监测技术，深入剖析声信号与声景间的相互作用机制，旨在为长江江豚保护策略制定提供科学依据，助力长江生态系统修复与生物多样性保护。

**关键词：**长江江豚；声信号特征；栖息地声景；监测技术；保护策略

## 引言

作为长江生态系统的环境指示物种，长江江豚长期以来面临栖息地破碎、水体污染、航运活动频繁及饵料资源下降等多重威胁，种群数量不断减少，保护形势严峻。在水生环境中，声学信号传递效率显著优于视觉与化学信号。长江江豚高度依赖声呐系统进行探测、导航与社群联系，理解江豚声信号的物理特性与行为功能，是评估其生态适应能力的基础。声景生态学的发展，推动将声音视为栖息地的重要属性与生态过程的关键指标，通过对江豚栖息地开展声景监测，能够在无干扰条件下长期记录其活动模式、分布变化及受干扰状况，为揭示自然与人为因素对其行为的影响提供重要途径。

## 一、长江江豚声信号特征分析

长江江豚的声信号可划分为高频脉冲信号与低频连续信号两大类，两类信号在物理特征、功能定位与发声场景上存在显著差异。

### 1. 声信号分类与物理特征

高频脉冲信号通常表现为一系列快速交替的瞬时脉冲，每个脉冲持续时间极为短暂，波形结构呈现清晰的多周期性振荡。这类声波发射时具有明显的方向聚集性，其能量主要集中在一个相对狭窄的频带区间，形成了典

型的生物声呐信号形态。由于中心频率较高，该信号在悬浮颗粒较多的浑浊水域中仍能有效传播，为江豚准确感知周围环境提供了重要的声学基础。

低频连续信号则展现出与脉冲信号截然不同的声学特征，波形表现为时间轴上连续、不间断的声波振动，其频谱范围较为宽广，常包含基频及其衍生出的多重谐波成分。依据具体频率数值与声学形态的细微差别，低频信号可进一步区分出若干具有差异的子类别，不同子类别的信号可被人耳辨别为音色与音调各异的声音。从能量分布角度看，低频连续信号的声压级通常较低，声场能量在传播过程中渐趋分散，但得益于低频声波在水中衰减较慢的物理特性，该信号能够在较远距离上保持有效传递，较好地适应了江豚群体间进行社会联系与信息交换的行为需求。

### 2. 声信号功能定位

高频脉冲信号主要服务于回声定位这一功能。江豚主动发射高频脉冲，通过接收和分析反射回波，能够在脑中构建出周围环境的声学图像，从而精准完成对目标的探测、定位与辨识。捕食过程中，凭借该信号系统，江豚得以锁定猎物方位，并判断其尺寸与运动趋势。导航时，高频脉冲用于探测水下地形与障碍物，保障行进过程的安全。在集群活动中，该信号还参与协调个体间的移动轨迹，有助于维持群体稳定的空间结构<sup>[1]</sup>。

低频连续信号的价值在于维系复杂的社会交流。江豚借助频率与节奏各异的声音，传递包括个体身份、情绪状态与行为意图在内的多种信息。例如，繁殖期间，雄性个体可能发出具有吸引作用的特定低频声以寻求配偶；母子之间通过独特的声学联系保持接触，从而保障

## 基金项目：

- 南通市社会民生科技计划（指令性）项目，项目编号：MS2025031
- 南通科技职业学院青年基金项目，项目编号：KY202503

幼体安全；群体成员在协同捕食时，也依靠低频信号相互沟通，提升整体觅食成功率。此外，低频信号还可能参与江豚的应激反应，当遭遇威胁时，个体通过发出特定低频信号警示同伴，触发群体防御行为。

### 3. 发声规律与昼夜节律

江豚的发声行为呈现出显著的昼夜变化规律。夜间的发声频率明显高于白天，这一差异与其捕食策略和行为习惯紧密相关。夜间水体透明度下降，江豚需要更多地借助回声定位系统感知周围环境，因此高频脉冲信号的发射频次相应增加；同时夜间饵料鱼类的活动往往更为活跃，为提高群体捕食效率，江豚会通过增加低频信号的发声次数来协调群体行动。

江豚的发声行为不仅随时间变化，也随空间与环境条件发生适应性调整。在开阔水域，江豚发声频率相对较低，声波能够传播至更远距离；而在狭窄河道或近岸区域，受限于空间结构与回声干扰，江豚会相应改变发声策略，往往减少高频信号的使用，转而提高低频信号的重复频率，以增强声波在复杂环境中的穿透效果。在繁殖期或育幼阶段，江豚之间的低频交流信号明显增多，声学结构也趋于复杂，反映出其社会互动与行为协调的精细程度正在提升。

## 二、长江江豚栖息地声景构成要素

### 1. 自然声源与声学特征

长江江豚栖息地的自然声源主要包括水流声、风浪声以及生物声等多个方面，它们共同奠定了该水域自然声景的基本格局<sup>[2]</sup>。水流声是栖息地声景中最稳定且主要的组成部分，其具体声学特征受多重因素制约，包括水流速度的快慢、河道形态的曲折程度以及河床质地的粗糙与否等。在流速缓慢的平缓水域，水流声通常表现为持续的低频湍流噪声，整体声压级较低；而在急流汹涌或瀑布跌落区域，水流声的频率显著上升，声压级急剧增强，这种高声强环境可对江豚依赖精确计时的回声定位系统造成干扰。

风浪声的强弱与频谱特征则直接受气象条件支配，与风速大小和风向变化紧密关联。当遭遇强风天气时，水面波浪规模增大，导致风浪声的频率分布范围扩展，声压级也随之升高，可能掩盖江豚用于社群联系的低频交流信号，进而干扰其正常的社会行为。

生物声来源于栖息地中的鱼类、虾类等多种水生生物的活动。鱼类通过身体摩擦、鳃肌振动或释放气体等方式产生声音，这些声音的频率覆盖范围广泛，声压级大小也存在明显差异。其中，部分鱼类发出的声音与江

豚的捕食活动存在联系，江豚可凭借识别鱼类的发声特征来辅助定位猎物位置；然而，当鱼类大规模集体发声时，所形成的复合声学背景又可能对江豚自身发射的回声定位信号产生干扰作用，迫使江豚必须相应地调整其发声策略以适应不断变化的声学环境。

### 2. 人类活动噪声与影响

人类活动是栖息地声景的重要干扰源，主要包括船舶交通噪声、水利工程建设噪声、水下施工噪声等，这些噪声对江豚的生存产生多维度影响。一方面，船舶交通噪声在长江水域中分布广泛且出现频繁，其声音形态通常呈现为低频连续声与高频脉冲声相互叠加的复合形态。大型船舶螺旋桨旋转所产生的噪声集中于低频部分，能量大、传播距离远，容易掩盖江豚用于社群联络的低频交流信号，从而干扰其正常的集体行为。船舶发动机产生的高频噪声，则可能直接损伤江豚敏感的听觉系统，削弱其回声定位的能力<sup>[3]</sup>。现有观测数据表明，在船舶通航期间，江豚的发声频率明显下降，行为活跃度亦受到抑制，表明船舶噪声对江豚具有实际存在的驱避作用。

另一方面，水利工程建设运行（例如水闸启闭、泵站作业）以及水下施工活动（包括打桩、爆破等）所产生的噪声，往往具有突发性强、声压级极高的特点，其强度显著超越绝大多数自然声源。这类人为噪声不仅可能对江豚听觉器官造成物理性损伤，引发暂时甚至永久性的听力衰退，还极易诱发强烈的应激反应，迫使江豚个体逃离原有栖息水域，进而对其觅食、繁殖等关键生命活动形成严重干扰。

### 3. 声景动态变化与江豚适应性

在时间维度，声景的昼夜变化与季节变化显著。具体表现为：其一，夜间人类活动减少，自然声源主导声景，江豚发声频率升高，社会行为更为活跃；白天人类活动增加，船舶噪声与施工噪声干扰增强，江豚可能减少发声，调整活动范围以规避噪声源。其二，雨季水流声增强，风浪声频率升高，江豚可能增加高频脉冲信号的使用以克服声学干扰；旱季水流平缓，声景背景降低，江豚的低频交流信号传播效率提高，社会互动增加。

在空间方面，不同栖息地类型的声景特征差异明显。开阔水域声景背景较低，江豚发声信号传播距离远，社会行为受干扰较小；狭窄河道或近岸区域声景复杂，人类活动噪声与自然声源叠加，江豚需通过调整发声频率与节奏适应声学环境。例如，在船舶密集区域，江豚可能减少低频交流信号的使用，增加高频脉冲信号的重复频率，以提高回声定位精度；在受保护的天然水域，江

豚的低频交流信号更为丰富，社会结构更为稳定。

### 三、长江江豚栖息地声景监测技术与应用

#### 1. 声学监测设备与数据采集

声景监测的关键设备包括水听器、声学记录仪与数据分析系统。水听器作为声信号接收装置，需具备宽频带响应特性与高灵敏度，以准确捕捉江豚声信号与栖息地声景特征；声学记录仪负责声信号的数字化存储，应具有大容量存储空间与长时间连续工作的能力；数据分析系统可通过信号处理算法提取声信号特征参数（如频率、声压级、持续时间），为后续分析提供数据支持。

数据采集则必须考虑空间覆盖与时间连续性。在重点栖息地（如江豚核心活动区域、繁殖地等）布设固定监测站点，实现长期连续监测；在流动水域或调查区域，采用移动监测平台（如监测船、无人机）扩大监测范围，获取空间异质性数据。同时，还可结合同步的环境参数（如水温、水质、水流速度）与生物参数（如鱼类资源量、江豚出现频率）采集，构建多维数据集，为声景分析提供综合依据。

#### 2. 声信号识别与分类算法

江豚声信号的准确识别是声景监测的关键环节。传统识别方法依赖人工听辨与频谱分析，效率低且主观性强；现代算法基于机器学习与深度学习技术，通过构建声信号特征库与分类模型，实现自动化识别。

特征提取阶段，算法从原始声信号中提取时域特征（如持续时间、间隔时间）、频域特征（如频率范围、谐波结构）与时频特征（如短时傅里叶变换、梅尔频率倒谱系数），构建高维特征向量；分类模型阶段，采用支持向量机、随机森林或卷积神经网络等算法训练分类器，通过大量标注数据优化模型参数，提高识别准确率。大量实践表明，深度学习模型在江豚声信号识别任务中表现优异，识别准确率较高，能够区分高频脉冲信号与低频连续信号，并进一步细分低频信号亚型。

#### 3. 声景评估指标与保护应用

声景评估应构建量化指标体系，综合反映栖息地声学环境质量与对江豚的影响程度。常用指标包括声压级（如均方根声压级、峰值声压级）、频率分布（如1/3倍频程声压级）、声暴露级（SEL）与声源级（SL）等，用于描述声景的强度特征。

基于声景评估结果，可制定针对性保护措施。在噪声污染严重区域，实施船舶限速、禁航时段管理或推广

低噪声船舶技术，降低人类活动噪声对江豚的干扰；在栖息地修复项目中，通过生态护岸、湿地恢复等措施改善水流条件，降低自然声源对江豚声信号的掩盖效应；在保护区规划中，结合声景监测数据划定核心保护区域，限制人类活动范围，为江豚提供安静栖息环境。通过对比保护措施实施前后的声景特征变化，能够科学评估保护成效，进而优化管理策略，推动长江江豚保护与生态系统修复的协同发展。

#### 4. 长期监测网络构建与管理应用

建设覆盖重点栖息地的标准化长期监测网络是技术落地的关键。应依据江豚分布与受干扰程度，科学布设固定监测站与移动巡测路线，形成点线面结合的立体监测体系，实现声景变化的连续感知与实时预警。

为实现这一目标，需建立统一的数据管理与共享平台，对声学、环境及元数据进行规范化存储与分析，从而打破信息壁垒，有效支撑全流域声景综合评估。

在此基础上，监测数据应深度融入管理决策，建立“监测—评估—预警—干预”的动态机制，将声景指标纳入保护成效考核，推动科研成果转化为具体管理行动，持续提升栖息地声环境质量。例如，实时声景数据可为船舶动态交通管理提供依据；长期趋势分析能够指导涉水工程规划与生态修复；等等。

### 结语

综上所述，长江江豚声信号特征与栖息地声景密切相关，其声行为是对复杂声学环境的适应性表现。对声信号与声景相互作用机制的分析探究，为构建以声景保护为导向的管理体系提供了科学基础。未来研究应着力完善声学数据库建设，推动监测技术与保护实践深度融合，为提升长江生物多样性保护成效提供新路径。

### 参考文献

- [1] 陈炳耀，信誉，路方婷，等. 长江江豚监测现状及展望[J]. 中国环境监测，2023，39（02）：1-10.
- [2] 李栋，蔺丹清，王召根，等. 江苏镇江长江豚类省级自然保护区长江江豚种群分布与水下噪声的关系探究[J]. 水生生物学报，2024，48（10）：1660-1671.
- [3] 王克雄，王志陶，梅志刚，等. 长江生态考核指标：基于被动声学监测的长江江豚数量[J]. 水生生物学报，2021，45（06）：1390-1395.