

长江江豚声信号及其声行为的初步研究

王 丁

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要

长江江豚的声信号可分为两大类, 即高频脉冲信号和低频连续信号。高频脉冲信号可能与回声定位有关, 而低频连续信号可能与通信和情感表达有关。不管是高频脉冲信号还是低频连续信号, 在豚处于自由状态时, 夜间的发声次数要多于白天。

关键词 江豚, 声信号, 声行为

江豚 (*Neophocaena phocaenoides*) 隶属于鲸目, 齿鲸亚目, 鼠海豚科。是一种小型鲸类。其分布范围西起波斯湾, 经印度次大陆到东南亚, 印度尼西亚, 北至中国, 朝鲜半岛和日本沿海^[1, 2]。在我国几条主要河流中如长江, 珠江, 鸭绿江等也有分布, 尤以长江中下游为多^[3]。江豚是我国国家二级保护动物, 它的长江种群与我国一级保护动物、世界上最濒危的鲸类白𬶨豚 (*Lipotes vexillifer* Miller) 占有相似的生态环境。目前已对长江江豚的种群数量, 种群结构以及活动规律等作过一些研究^[3, 4]。国外也有一些学者对生活在海洋中的江豚的声信号主要是回声定位系统 (Echolocation system) 中的声呐信号即回声定位信号及其方向性特征作过一些研究^[5, 6]。我国学者孟凡等^[7]和张思照等^[1]对捕自我国沿海的江豚的回声定位信号也作过一些初步的记录和分析。对于生活在长江中的江豚, 仅有 Hua 和 Zhou 对捕自长江下游并饲养于实验室水池中的一头未成熟的雌性江豚的回声定位信号作过初步分析^[8]。本文将对长江中以及石首天鹅洲故道白𬶨豚自然保护区圈养条件下的两群江豚的声信号特别是低频通信信号及其声行为作一较为详细的报道。

1 材料和方法

使用的资料来自暂时圈养于长江中游赤壁江段的江豚和石首天鹅洲白𬶨豚自然保护区圈养的江豚的声信号记录和行为观察, 亦包含了部分在人工饲养池中饲养的江豚群体的记录。赤壁江段圈养的江豚共 21 头, 其中成年雌性 6 头, 成年雄性 3 头, 其他均为未

1) 张思照等。江豚水下声信号的记录与分析(摘要)。水声学分科学会成立大会暨学术交流会, 厦门, 1986。

本所刘仁俊、张先锋、及本研究室大部分同志和现在南京师范大学工作的华元渝同志组织、参加了捕豚及行为观察。王小强同志参加了部分声音采取工作。本工作的信号分析部分是在以 Bernd Würsig 教授为首的美国德州 A&M 大学海洋哺乳动物研究计划完成的。在美期间, 国际鲸类学会的副主席 William Rossiter 先生提供了经费支持, 在此一并致谢。

1994 年 5 月 27 日收到, 1995 年 9 月 16 日修回。

成年个体。这一圈养群体于 1984 年 11 月 21 日捕自洞庭湖君山沟的一个共 25 头江豚的完整群体。圈养的时间为 1984 年 11 月 22 日至 12 月 18 日。声信号记录时间为 1984 年 12 月 5—7 日。记录系统为 B&K8100 水听器(丹麦 B&K 公司)和 SR-30C 便携式磁带数据记录仪(日本 TEAC 公司)。记录系统的频响范围为 0.1Hz 到 125kHz(+/-10dB, 受水听器限制)。石首天鹅洲白暨豚自然保护区圈养的江豚共 3 头, 均为雄性, 其中 1 头为未成年个体。这 3 头江豚分别于 1990 年春和 1993 年春捕自长江城陵矶江段, 然后引进保护区饲养。为进行无线电跟踪研究被再次围捕, 圈养时间为 1993 年 10 月 18—25 日, 声信号记录时间为 10 月 24—25 日。记录系统为 C.Clark 水听器(美国 Cornell 大学 C.Clark 博士特别制作)和 Marantz PMD430 便携式磁带记录仪(美国 Marantz 公司)。记录系统的频响范围为 200Hz 到 15kHz(+/-3dB)。所有声记录的同时将行为观察记录在记录仪的另一个通道或记录本上或两者同时进行。记录的声信号用“SIGNAL”计算机信号处理系统(美国 Engineering Design 公司)进行分析, 并打印出声谱图。

2 结果

2.1 声信号的分类

根据物理特征的不同, 可将记录到的声信号分为两大类。

2.1.1 高频脉冲信号 这类信号由一连串的单个高频窄脉冲所构成。脉冲数少则几个, 多则百十个。一般在 20—120 个之间, 脉冲重复频率一般为 20—120 个 / s。单个脉冲时间宽度一般在 3.1ms 左右, 每个脉冲完整波形个数在 2.5—5 个之间。一个典型的脉冲串系列及其声谱图如图 1 所示(这一信号来自 Marantz 低频记录系统的记录)。其单个脉冲的波形图如图 2 所示。

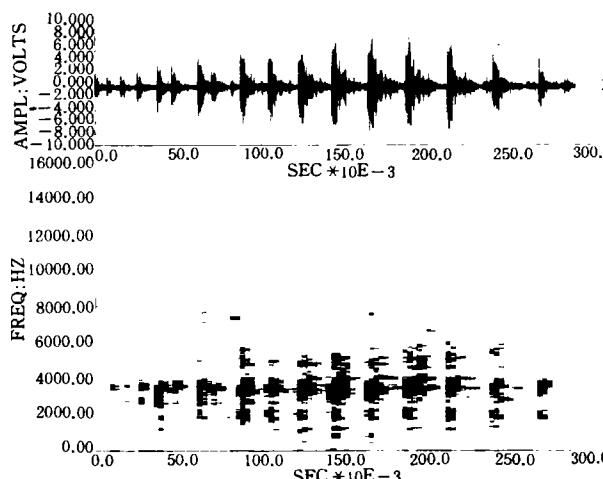


图 1 一个典型的脉冲串系列(部分)波形图(上)及其声谱图(下)

Fig.1 Oscillogram (top) and sonogram (bottom) of a typical pulse train (part)

DF:74 HZ DT: 13.4 MS T-INC: 2.9 MS FFT: 512 WIND: HANN
HI-FILT: OFF Lo: -40 DB HI: -6 DB AMPL:LOG INT: MED

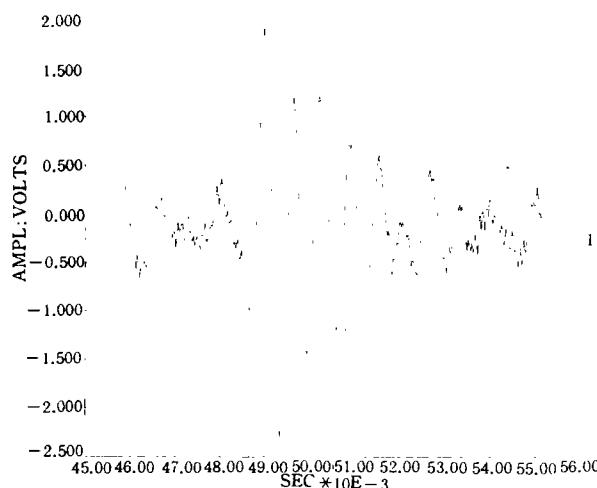


图 2 单个脉冲波形图

Fig.2 Oscillogram of a single pulse

2.1.2 低频连续信号 这类信号均为时间连续信号,且其频率分布一般均处于 15kHz 以下。持续时间一般在 300—600ms 之间,长的可达 2s 以上。声谱图上存在较多的谐波分量。由于频率的高低不同及其它信号参数的差异,人耳听起来就成了不同的声音。有的如羊叫,有的似鸟鸣。一些典型低频连续信号如图 3 所示。

2.2 声信号与行为的关系及昼夜节律

2.2.1 高频脉冲信号与回声定位的关系 高频脉冲信号主要是豚在作探测如观测环境,捕捉食物时发出。当投鱼于水听器附近时就可听到大量的这类信号。所以,高频脉冲信号应为江豚的声呐信号或称回声定位信号。根据其声响特征,参照其他豚类的同类信号的命名,又称“的答声”(clicks, 如 Wang 等^[9])。江豚高频脉冲信号发生的多少与豚所处的状态有关。豚被放进圈养的围网内头几天中,这类信号较多。圈养一段时间当豚熟悉周围环境后,一般不常发出这类信号,且脉冲间隔较大,每个脉冲串中脉冲数也较少。而在探测任务中(如捕食时)这类信号明显增多,脉冲间隔变小,脉冲数也大为增加。这时其头部对准被探测的目标作上下左右方向的微小摆动。

2.2.2 低频连续信号与声通信和情感表达的关系 在豚刚被放进圈养的围网中时,除了有较多的高频脉冲信号即回声定位信号外,同时发出较多的低频连续信号。然后随着时间的推移,这类信号也逐渐减少。在较多的江豚一起活动并有较多的社群行为时也有较多的低频连续信号。初步看来,低频连续信号与声通信和情感表达有关。在圈养过程中的行为观察中发现,江豚之间联系迅速。即使在体检后将母仔豚前后放入水中它们也能迅速会合,往往在第一次出水呼吸时两豚已会合在一起。由于圈养地的水较浑,视力很难在这种联系中起到什么作用。所以,这种联系工具也很可能就是声。

2.2.3 发声的昼夜节律 从还不十分充分的记录结果的分析看来,不管是高频脉冲信号还是低频连续信号,豚在水体较清并处于自由状态下,夜间的发声次数要多于白天。

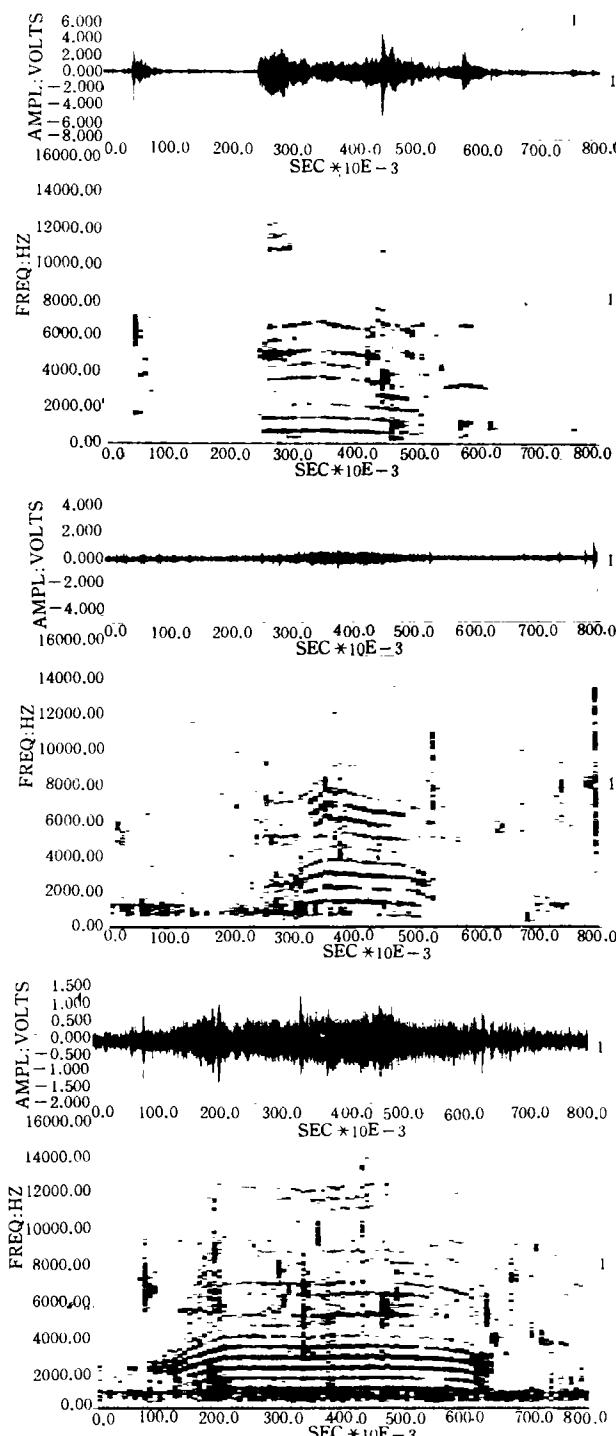


图 3 一组典型的低频连续信号的波形图(上)及其声谱图(下)

Fig.3 Oscillogram (top) and sonogram (bottom) of a group of typical low frequency time continuous signals

DF: 74 HZ DT: 13.4 MS T-INC: 7.9 MS FFT: 512 WIND: HANN
 HI-FILT: OFF Lo: -40 DB HI: -6 DB AMPL: LOG INT: MED

3 讨论

3.1 国外的一些研究者发现,有些鲸类不存在哨叫声(whistles)即频率单调的没有谐波或者谐波分量较少的纯音或调频时间连续信号。它们只有脉冲型式的声信号,包括频带较宽,频率主要处于超声范围的脉冲型信号,即回声定位信号;以及频率主要处于可听声范围的“爆破”型脉冲信号(Burst-pulse sounds)。后者的功能是通信。这类信号由于频率结构的特点,其中的一些人耳感觉起来就成了一种时间连续信号^[10]。这些研究者在比较了所有发出与不发出哨叫声的鲸类的不同的生态学特征后,推论哨叫声的存在与否与该种集群程度的高低及是否有合作捕鱼现象有关。即集群程度高的存在合作捕鱼现象的一般具有哨叫声,反之亦然。集群程度高的种类,可能应用哨叫声在捕食的同时维持通信^[11]。他们还认为某些种类没有哨叫声的原因可能是因为某些特有的生态压力抑制了哨叫声的发展,甚至假设没有哨叫声的种类可能发声(即的答声)的方式也与有哨叫声的种类不一样^[12]。有作者将江豚乃至整个鼠海豚科的豚类都列入不发出哨叫声的一类^[13]。据我们对长江江豚的声信号的初步记录和分析看来,它们存在非脉冲型式的时间连续的声信号,但声谱图上存在较多的谐波分量,频率结构较为复杂即不是其它有些鲸类所拥有的频率结构较为简单的单频纯音的哨叫声。同时,野外考察也发现,江豚一般成群体活动,有时群体规模还相当大,甚至上百头以上。也有合作捕鱼的现象。从圈养条件下记录的声信号和其行为分析看来,时间连续的低频信号可能与通信有关。张思照等发现江豚能在发射高频脉冲的同时发射连续声。所以,江豚也有可能在发射高频脉冲探测环境或捕鱼的同时利用低频连续信号维持通信。但是,这类低频连续信号在频谱结构上明显有别于单频纯音的哨叫声,同时,也有别于前面谈到的国外学者研究过的脉冲型连续信号。这是以前的鲸类研究者没有注意到的。应在以后的研究中作进一步的探讨。

3.2 长江江豚与白暨豚生存于相似的生态环境之中。但白暨豚的种群数量已下降至不到200头,濒临灭绝的边缘。长江江豚种群数量有2700头左右,仍处于相对健康的水平上。研究表明,由于人类活动包括渔业、航运业等导致的非正常死亡是白暨豚数量下降的主要原因^[14]。尽管江豚生活习性与白暨豚相似,且更靠近岸边渔业活动较多、船只来往较为频繁的地方活动,种群数量又比白暨豚多得多,似乎更易受到伤害。但事实上却较少有这方面的报道。尽管江豚的视力可能较白暨豚发达^[15],但由于长江水较为浑浊,能见度较低,声学系统应该在这两种豚类探测环境,寻找食物,逃避敌害等生命活动中起十分重要的作用。王丁等已经用行为学的方法测量了白暨豚的听觉灵敏度^[16-18],冯文慧等从形态学的角度证明白暨豚的听觉能力不如江豚^[19-21]。今后有必要进一步深入开展白暨豚与江豚的声功能的比较研究。这有可能使我们更深入地了解白暨豚资源量减少的内在原因,为拯救白暨豚这一濒危物种的同时合理保护江豚的物种资源提供科学依据。

3.3 从本文的初步记录和分析结果来看,在水体较清的情况下,江豚的发声活动水平(如发声次数等)在夜间要高于白天,这也许说明江豚的视觉还具有一定的功能。表明江豚的视力在其生命活动中仍起到一定作用。

3.4 本文所记录的江豚“的答声”的脉冲宽度约为3.1ms左右,这明显大于孟凡等所报道的捕自我国沿海的江豚的“的答声”脉冲宽度(>100-200us),Hua和Zhou所报道的捕

自我国长江下游的江豚的“的答声”的脉冲宽度(50—100us)以及 Kamminga 等所报道的捕自日本沿海的江豚的“的答声”的脉冲宽度(40—80us)。这一点有必要在今后的工作中做进一步的探讨。

参 考 文 献

- [1] 高安利、周开亚。关于江豚的古籍记载及现代研究。兽类学报, 1993, 13(3): 223—234。
- [2] Klinowska M. Dophins, Porpoises and Whales of the Word, The IUCN Red Data Book. Gland, Switzerland and Cambridge, U. K.: Published by IUCN. 1991: 109—113.
- [3] 张先锋等。长江中下游江豚种群现状评价。兽类学报, 1993, 13(4): 260—270。
- [4] Liu Renjun. New advances on population status and protective measures for *Lipotes vexillifer* and *Neophocaena phocaenoides* in the Changjiang River. *Aquatic Mammals*, 1991, 17(3): 181—183.
- [5] Kamminga C, Kataoka T, Englsma F J. Investigations on cetacean sonar VII. Underwater sounds of *Neophocaena phocaenoides* of the Japanese coastal population. *Aquatic Mammals*, 1986, 12(2): 52—60.
- [6] Pilleri G, Zbinden K, Kraus C. Characteristics of the sonar system of cetaceans with pterygoschisis. Directional properties of the sonar clicks of *Neophocaena phocaenoides* and *Phocoena phocoena* (Phocoenidae). *Invest. Cetacea*, 1980, 11: 157—188.
- [7] 孟凡、王振先、李武。胆鼻海豚、江豚的捕捉, 运输, 饲养和声学实验。动物学杂志, 1981, 4: 26—29。
- [8] Hua Minglong, Zhou Kaiya. Statistical measurement of frequency spectrum of echolocation signals of the finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*. 14th International Congress on Acoustics Proceedings, 1992, Volume / Band 4 I4—3. Beijing, China.
- [9] Wang Ding, Lu Wenxiang, Wang Zhifan. A preliminary study of the acoustic behavior of *Lipotes vexillifer*. *Occasional Papers of the IUCN SSC*, 1989, 3: 137—140.
- [10] Popper A N. Sound emission and detection by delphinids. In: *Cetacean Behavior: Mechanisms and Functions*. New York: John Wiley & Sons, Inc.. 1980: 1—52.
- [11] Herman L M, Tavolga W N. The communication systems of cetacean. In: *Cetacean Behavior: Mechanisms and Functions*. New York: John Wiley & Sons, Inc.. 1980: 149—210.
- [12] Evans W E, Awebrey F T. Natural history aspects of marine mammal, echolocation, feeding strategies and habitat. In: *Animal Sonar, Processes and Performance*. New York: Plenum Press. 1988: 521—534.
- [13] Caldwell D K, Caldwell M C. Cetaceans. In: *How Animal Communicate*. Bloomington: Indiana University Press. 1977: 794—808.
- [14] Chen Peixun, Hua Yuanyu. Distribution, population size and protection of *Lipotes vexillifer*. *Occasional Papers of the IUCN SSC*, 1989, 3: 81—85.
- [15] 吴奇久、李俊凤。江豚视神经和白鱀豚视神经的比较研究。动物学报, 1984, 30(4): 331—336。
- [16] 王丁等。白鱀豚听觉灵敏度的研究。华中理工大学学报, 1988, 16(3): 55—60。
- [17] 肖友美、王丁、王克雄。白鱀豚(*Lipotes vexillifer*)听阈值的进一步研究。海洋学报, 1993, 15(1): 125—128。
- [18] Wang Ding etc.. Auditory sensitivity of a Chinese river dolphin, *Lipotes vexillifer*. In: *Marine Mammal Sensory Systems*. New York: Plenum Press. 1992: 213—221.
- [19] 冯文慧、梁长林、刘利军。中国江豚的前庭神经节定量研究。科学通报, 1985, 24: 1900—1902。
- [20] 冯文慧、梁长林。白鱀豚和中国江豚的听觉系统—耳蜗基膜的研究。科学通报, 1986, 11: 862—864。
- [21] Feng Wenhui etc.. Morphometric and stereoscopic studies of the spiral and vestibular ganglia of the baiji, *Lipotes vexillifer*. *Occasional Papers of the IUCN SSC*, 1989, 3: 119—123.

A PRELIMINARY STUDY ON SOUND AND ACOUSTIC BEHAVIOR OF THE YANGTZE RIVER FINLESS PORPOISE, *NEOPHOCENA PHOCÆNOIDES*

Wang Ding

(Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

Abstract

The sounds of the Yangtze River finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, fall into two main categories: high frequency pulsed sounds and low frequency time continuous signals. High frequency pulsed sounds might be used for echolocation, and low frequency time continuous signals related with communication and emotive state expression. When the animals were in normal situation, emission rates of both sounds were higher in night time than those in day time.

Key words Finless porpoise, Sounds, Acoustic behavior