

港珠澳大桥北侧沿线中华白海豚栖息地利用及保护建议

黄志雄¹, 温 华¹, 陈 涛^{2,3}, 王新星^{2,3}, 陈宇健², 陈 希⁴, 肖尤盛⁴, 张朝明⁴, 方 亮^{2,3}

1. 港珠澳大桥管理局, 广东 珠海 519015

2. 中国水产科学研究院南海水产研究所/广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300

3. 三亚热带水产研究院, 海南 三亚 572000

4. 珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局, 广东 珠海 519015

摘要: 为了解在港珠澳大桥建成后, 中华白海豚 (*Sousa chinensis*) 对大桥水域北侧栖息地的利用情况, 及其可能穿越大桥的潜在通道。在大桥北侧沿线水域布置了 A、B、C、D 4 个固定被动声学监测位点, 总共进行了 2 947 h 的声学录音。在 4 个监测位点发现中华白海豚声学事件的概率分别为 15.31% (A)、17.30% (B)、8.97% (C)、5.85% (D), 表明大桥北侧沿线水域依然是中华白海豚的重要栖息地, 且其活动存在时空差异。在不同监测位点发现的中华白海豚声学事件并无明显的昼夜差异。在桥梁结构的 A、B 和 C 3 个监测位点, 低潮位阶段发现中华白海豚的概率分别为 1.56%、1.82% 和 0.78%, 均高于高潮位阶段 (0.94%、1.56% 和 0.26%); A 和 B 点在涨潮和落潮阶段发现中华白海豚的概率相近, 但 C 和 D 点在涨潮阶段的发现概率分别为 4.55% 和 3.64%, 均高于落潮阶段 (3.12% 和 1.30%), 表明潮汐变化对中华白海豚在桥梁结构水域的栖息地选择上有一定影响且存在空间差异。根据声学监测结果推测, A 和 B 点之间的水域可能是中华白海豚穿越大桥的重要区域, 建议加强对该区域的巡查和管理。

关键词: 中华白海豚; 港珠澳大桥; 被动声学监测; 栖息地利用; 珠江口

中图分类号: Q 16

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Habitat utilization and recommendations for conservation of Indo-Pacific humpback dolphin along northern Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

HUANG Zhixiong¹, WEN Hua¹, CHEN Tao^{2,3}, WANG Xinxing^{2,3}, CHEN Yujian², CHEN Xi⁴, XIAO Yousheng⁴, ZHANG Chaoming⁴, FANG Liang^{2,3}

1. Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge Authority, Zhuhai 519060, China

2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangzhou 510300, China

3. Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya 572000, China

4. Pearl River Estuary Chinese White Dolphin National Nature Reserve, Zhuhai 519000, China

Abstract: To understand the utilization of the habitat in the waters along the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge by Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) and its potential migration pathways to cross the bridge. We set four fixed passive acoustic monitoring points (A, B, C, D) along the northern waters of the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge, and recorded a total of 2 947 hours of acoustic data in November 2020 and March 2021, respectively. The probabilities of detecting acoustic events in

收稿日期: 2024-07-22; 修回日期: 2024-11-29

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (32202937); 海南省科技计划三亚崖州湾科技城科技创新联合项目 (2021CXLH0004); 广州市基础与应用基础研究项目 (202201011825); 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助 (2019TS27)

作者简介: 黄志雄 (1971—), 男, 高级工程师, 研究方向为生态环境海洋生物保护管理。E-mail: huangzhixiong@126.com

通信作者: 方 亮 (1987—), 男, 助理研究员, 博士, 研究方向为鲸类保护生物学和鲸类声学。E-mail: fangliang@scsfri.ac.cn

S. chinensis at four monitoring points are as follows: 15.31% (A), 17.30% (B), 8.97% (C), 5.85% (D), which indicates that the waters along the northern of the bridge is an important habitat for *S. chinensis* with spatiotemporal differences. There is no significant diurnal and nocturnal difference in the acoustic events of *S. chinensis* observed at different monitoring sites. The probabilities of detecting *S. chinensis* at low tide levels of monitoring sites A, B and C on bridge structures were 1.56%, 1.82% and 0.78%, respectively, all higher than those at high tide levels (0.94%, 1.56% and 0.26%). The probabilities of discovering *S. chinensis* during high tide and low tide stages at sites A and B were similar, but those during high tide stage at sites C and D were 4.55% and 3.64%, both higher than those during low tide stage (3.12% and 1.30%), indicating that tidal changes have a certain impact on the habitat selection of *S. chinensis* in bridge structure waters with spatial differences. The result also indicates that *S. chinensis* may prefer the area between sites A and B to cross the bridge than the other area. Inspection and management of its passageway should be strengthened.

Keywords: *Sousa chinensis*; Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge; Passive acoustic monitoring; Habitat utilization; Pearl River Estuary

中华白海豚 (*Sousa chinensis*) 又名印度太平洋驼背豚, 主要分布于中国东南部海域至孟加拉近岸河口等水深不超过 15 m 的区域。由于中华白海豚的栖息地与人类主要涉海活动区域高度重叠, 因此其生存和繁衍受到了人类活动的高度冲击, 中华白海豚种群面临的生存和繁衍压力与日俱增^[1-3]。中国水域的中华白海豚种群数量约占全球种群数量的 83%, 且中国水域的中华白海豚种群大多面临较强的人类活动压力, 保护形势不容乐观^[4-6]。

珠江口中华白海豚的种群分布范围北起珠江口南至漠阳江口, 其中还包括香港西南海域和澳门海域, 是世界上最大的中华白海豚种群栖息地, 生活的中华白海豚种群数量超过 2 500 头^[7-8]。围绕珠江口的粤港澳大湾区是高度城市化的湾区, 在大湾区城市化过程中对珠江口海域的过度开发利用导致该区域的中华白海豚种群长期承受着食物资源枯竭、环境污染、航运交通和栖息地丧失等人类活动的影响, 中华白海豚种群面临日益严峻的生存威胁^[9]。Huang 等^[10] 根据生命表估算珠江口水域中华白海豚种群以每年 2.46% 的速率衰退, 74.3% 的种群将在 3 个世代以后丧失。根据珠江口中华白海豚国家级自然保护区统计的 2003—2017 年中华白海豚的搁浅数据, 珠江口水域中华白海豚的死亡率呈显著上升趋势^[11]。

港珠澳大桥是连接香港、珠海和澳门的一座跨海桥梁, 全长 55 km, 主体工程为桥、岛、隧组合结构, 总长约为 29.6 km, 大桥横穿伶仃洋水域, 隧道长度约为 6.7 km^[12]。港珠澳大桥桥梁和隧道穿越了珠江口中华白海豚国家级自然保护区的核心区、缓冲区和实验区, 长度约为 20 km。在大桥建设期间采取了一系列措施来减少工程施工对中华白海豚的影响, 取得了较好效果^[13-14]。港珠澳大桥

建成通车后, 大桥两侧的中华白海豚群体能否正常穿越大桥、其主要穿越区域及对大桥附近水域栖息地的利用情况, 是珠江口中华白海豚保护和管理工作重点关注的问题^[13,15]。要确定中华白海豚从何处穿越桥梁, 首先需要了解其在大桥附近水域的活动情况。

被动声学是一种通过记录和分析动物声信号, 来了解其行为和活动规律的监测方法, 已广泛应用于野生动物监测研究, 包括几乎所有种类的海洋鲸豚类动物^[16-18]。同其他齿鲸一样, 中华白海豚高度依赖声音来探测、导航、捕食和通讯交流, 其声音主要分为回声定位信号和通讯信号。回声定位信号峰值频率平均约 109 kHz, 时长约 22 μ s^[19]; 通讯信号也称哨叫声, 其声信号频率带宽介于 0.52~33 kHz, 持续时间约 370 ms^[20]。由于中华白海豚需要频繁发射回声定位信号来探测和捕食, 因此通过记录回声定位信号来研究其栖息地利用情况和评估人类活动对其影响是一种非常有效的方法, 近年来也得到了广泛运用^[21-24]。本研究采用被动声学方法对港珠澳大桥北侧水域中华白海豚的活动情况进行监测, 掌握大桥建成后中华白海豚对大桥水域栖息地的利用情况, 进而推测其潜在的穿越大桥区域, 并提出相应的保护管理建议。

1 材料与方法

1.1 监测区域与设备

在港珠澳大桥北侧沿线附近水域设置 4 个被动声学监测位点 (图 1), A 点 (113.655°E, 22.251°N) 位于江海直达船航道桥东侧 500 m 处, 距离桥梁 135 m; B 点 (113.689°E, 22.270°N) 位于江海直达船航道桥和青州航道桥之间的中间位置, 距离桥梁 132 m;

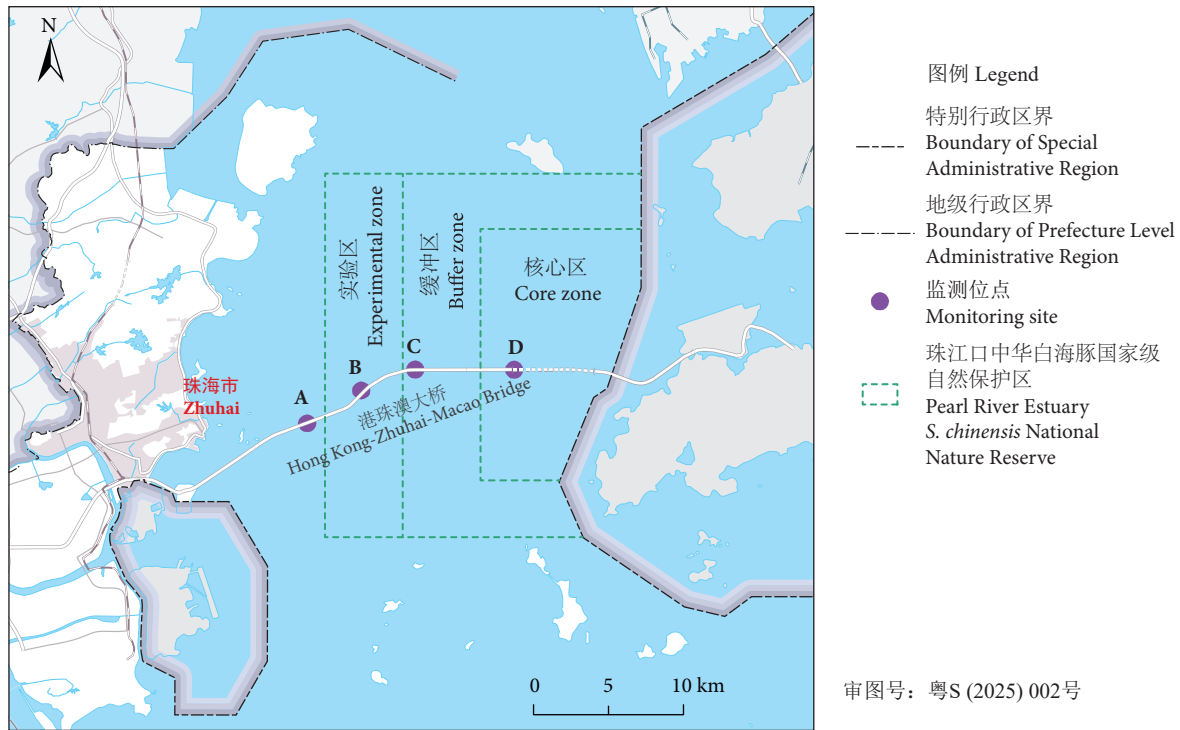


图1 声学监测位点

Fig. 1 Location of acoustic monitoring sites

C 点 (113.724°E, 22.284°N) 位于青州航道桥西侧 500 m 处, 距离桥梁 125 m; D 点 (113.788°E, 22.284°N) 位于西人工岛北侧近航道处, 距离人工岛 50 m。

水下录音设备为 SoundTrap 300 HF (Ocean Instruments Ltd., 新西兰), 长度约为 200 mm, 直径为 60 mm, 空气中质量为 500 g, 最高采样率可达 576 kHz, 内存为 128 GB。若存储数据经过特殊压缩, 存储内存可达 512 GB, 可连续采集时间为 13 d, 若设置为间隔采样, 水下记录时间可超过 45 d。该仪器已广泛用于海洋生物声音和环境噪声的记录和监测等科研活动。

1.2 数据采集

水下录音设备通过潜水员布置于水深 3 m 处, 仪器工作参数设置为每小时记录 5 min, 采样率为 288 kHz。通过专业潜水人员更换仪器设备并导出数据, 以保证采集的声学数据的安全性。声学监测数据采集工作分为 2 个时间段, 分别为 2020 年 11 月 6—29 日和 2021 年 3 月 1—9 日。声学数据采集情况见表 1, A 点共计采集 640 份声音文件, 其余 3 个位点采集的声音文件均为 769 份, 每份声音文件时长为 5 min。

1.3 数据分析

1.3.1 中华白海豚声学事件统计

将采集的声学数据导出后, 用 Matlab 软件进

表 1 港珠澳大桥北侧沿线水域 4 个声学监测位点的被动声学数据采集情况

Table 1 Acoustic data collection of four acoustic monitoring sites along north side of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

监测位点 Acoustic monitoring site	第一阶段 First period		第二阶段 Second period		声音文件 数量 Number of acoustic files
	开始时间 Start time	结束时间 End time	开始时间 Start time	结束时间 End time	
A	2020-11-06	2020-11-24	2021-03-01	2021-03-09	640
B	2020-11-06	2020-11-29	2021-03-01	2021-03-09	769
C	2020-11-06	2020-11-29	2021-03-01	2021-03-09	769
D	2020-11-06	2020-11-29	2021-03-01	2021-03-09	769

行处理。中华白海豚的声学事件鉴定主要通过识别其回声定位信号。中华白海豚的回声定位信号是一种高频宽带脉冲信号, 通常由脉冲串组成, 一个脉冲串包含几个到上百个脉冲信号。单个脉冲信号持续时间约 22 μ s, 脉冲信号的能量介于 10~140 kHz, 峰值频率约 109 kHz。若 1 份原始声音文件检测出有中华白海豚的回声定位信号, 则定义为 1 个中华白海豚声学事件。通过统计每个监测位点中华白海豚的声学事件数量占总声音文件数量的比例来了解其出现概率; 通过统计每个监测位点全天 24 h 内每小时的声学事件占声音文件的比例来了解其昼夜

活动规律。

1.3.2 潮汐阶段划分

珠江口的潮汐属于典型不规则的半日潮, 为了更好地了解潮汐变化与中华白海豚出现的关系, 本研究将潮汐变化分为 4 个时间区段, 分别是高潮 (持续时间为高潮位的前后 0.5 h)、低潮 (持续时间为低潮位的前后 0.5 h)、落潮 (高潮向低潮变化的阶段) 和涨潮 (低潮向高潮变化的阶段), 如图 2 所示。潮汐高潮时间和低潮时间通过查询国家海洋信息中心出版的 2020 和 2021 年潮汐表中的珠海港潮汐表获得。

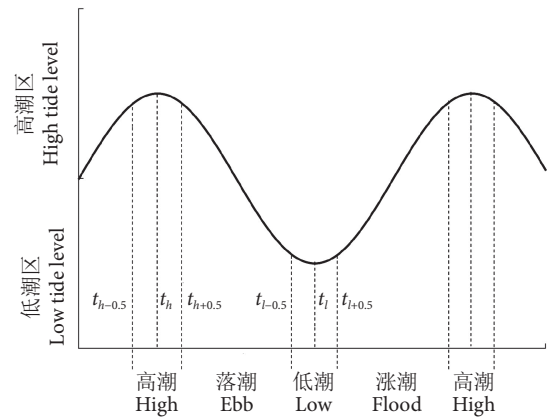


图2 潮汐相位图

注: t_h 和 t_l 分别是潮汐周期中最高水位和最低水位的时间。

Fig. 2 Schematic of tidal phase

Note: The t_h and t_l represent the time at the highest and lowest water levels during a tidal cycle, respectively.

2 结果

2.1 中华白海豚栖息地利用的空间差异

中华白海豚对不同监测位点的栖息地利用情况存在差异, A、B、C 和 D 点监测到的中华白海豚声学事件文件分别为 98、133、69 和 45 份, 其中 B 点发现中华白海豚的概率最高 (17.3%), A 点的概率仅次于 B 点, 为 15.31%, C 点为 8.97%, D 点为 5.85%。

2.2 中华白海豚栖息地利用的昼夜差异

为了解不同监测位点中华白海豚的昼夜活动情

况以及差异, 统计比较了所有监测位点中华白海豚声学事件在 24 h 内的分布情况。A 点发现中华白海豚概率最高的时段为 18:00, 发现概率为 1.56%, 发现概率较低的时段为 9:00—13:00 (图 3-a); B 点发现中华白海豚概率最高的时段为 6:00, 发现概率为 1.3%, 另外在 21:00—23:00 及 3:00—9:00 时段内的发现概率相对较高 (图 3-b); C 点发现中华

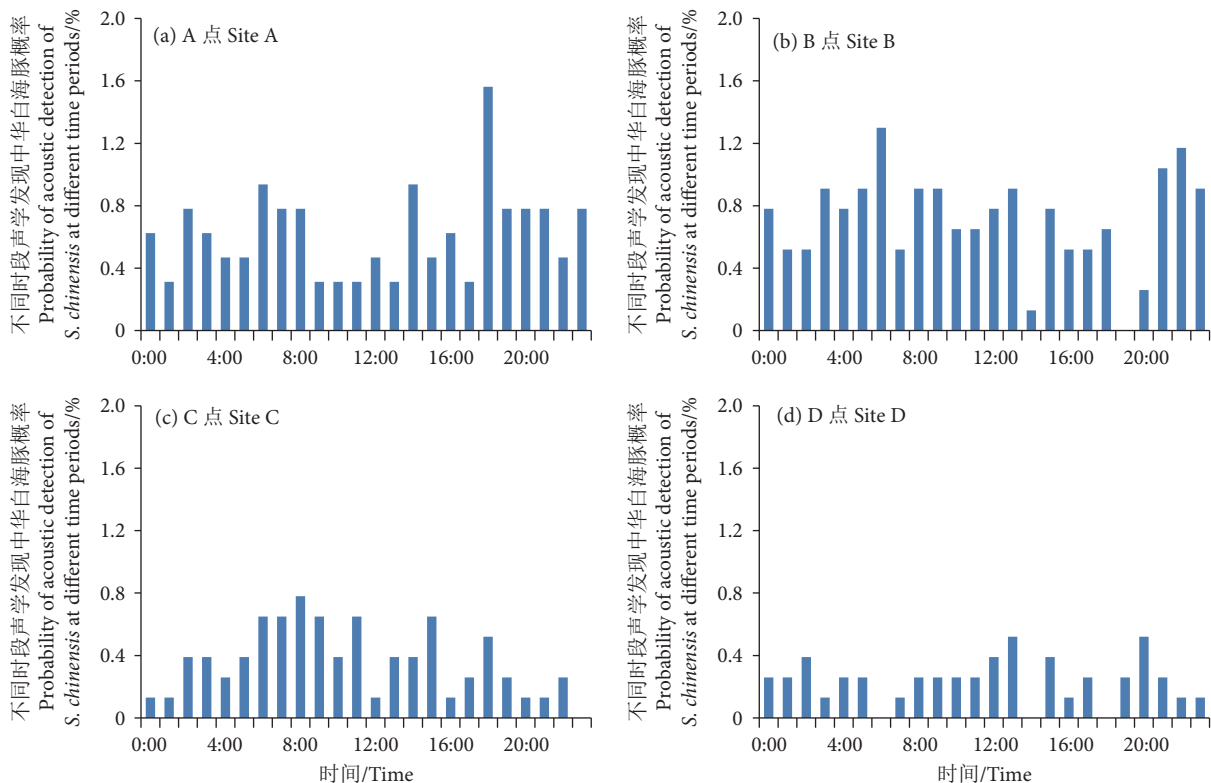


图3 4个监测位点中华白海豚的昼夜活动规律

Fig. 3 Diurnal and nocturnal acoustic activity patterns of *S. chinensis* at four monitoring sites

白海豚概率最高的时段为 8:00, 发现概率为 0.78%, 另外在 6:00—11:00 时段内的发现概率高于其他时段 (图 3-c); D 点发现中华白海豚概率最高的时段为 13:00 和 20:00, 发现概率均为 0.52%, 而 6:00、14:00 及 18:00 均未发现 (图 3-d)。

2.3 潮汐对中华白海豚栖息地利用的影响

对不同潮位阶段发现中华白海豚的声学事件也进行了统计。由于高潮和低潮的持续时间与涨潮和落潮的持续时间不等, 为了便于比较, 将 4 个监测位点高潮和低潮时间段内发现中华白海豚事件作为一组进行比较, 将涨潮和落潮时间段内发现中华白海豚事件作为另一组进行比较。

桥梁区域的 A、B 和 C 3 个监测位点在低潮位发现中华白海豚的概率均高于高潮位。B 点在低潮位和高潮位的发现概率分别为 1.82% 和 1.56%, 均高于 A 和 C 点。C 点在高潮位和低潮位发现中华白海豚的概率分别为 0.26% 和 0.78%, 均低于 A 和 B 点。人工岛区域的 D 点在高潮位和低潮位发现中华白海豚的概率持平 (图 4)。

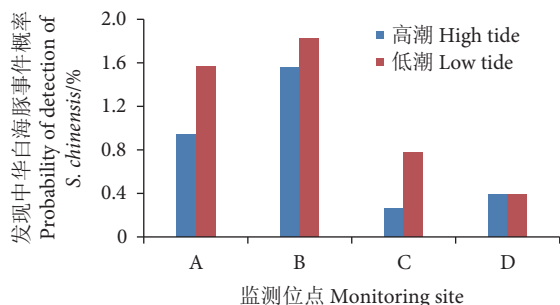


图4 不同监测位点在高潮位和低潮位阶段发现中华白海豚情况

Fig. 4 Acoustic detection rates of *S. chinensis* at different monitoring sites during high and low tide stages

在涨潮和落潮阶段, B 点发现中华白海豚的概率分别为 6.76% 和 6.89%, 均高于其他 3 个位点; A 点涨潮和落潮阶段的发现概率接近, 分别为 6.25% 和 6.41%; C 和 D 点涨潮阶段的发现概率均高于落潮阶段 (图 5)。

3 讨论

港珠澳大桥是首座穿越珠江口伶仃洋的跨海大桥, 同时也是首座穿越中华白海豚国家级保护区的跨海桥梁, 因此其建成运营对全球最大的珠江口中华白海豚种群的影响是中国中华白海豚保护工作值得长期关注的问题。研究显示港珠澳大桥水域在施

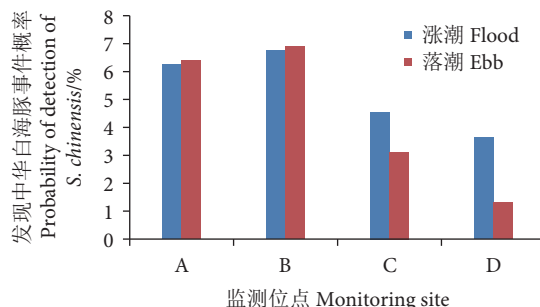


图5 不同监测位点涨潮和落潮阶段发现中华白海豚情况

Fig. 5 Acoustic detection rates of *S. chinensis* at different monitoring sites during flood and ebb stages

工建设前是中华白海豚的重要栖息地^[7], 本研究结果表明大桥北侧沿线附近水域在大桥建成通车后仍然是中华白海豚非常重要的栖息地。本研究布设的 4 个声学监测位点均发现较频繁的中华白海豚声学活动, 声学监测结果同时也显示中华白海豚对大桥北侧沿线附近水域栖息地的利用存在较明显的空间差异。B 点发现中华白海豚的概率最高, 位于青洲航道桥附近的 C 点和位于西人工岛附近的 D 点发现中华白海豚的概率明显低于 A 和 B 点。之前的监测结果表明西人工岛附近隧道上方海域是中华白海豚的热点分布区^[6], 但本研究中 D 点中华白海豚的声学事件明显低于其他 3 个监测位点, 原因可能是声学监测设备过于靠近人工岛, 导致设备接收信号的角度有限, 大大降低了监测效果。基于声学事件观测的数据结果推测, 中华白海豚在监测位点 A 和 B 区域内通过港珠澳大桥的可能性较高, 这片水域可能是中华白海豚穿越港珠澳大桥的重要通道。中华白海豚偏好在这一区域活动的原因尚不清楚, 但 Guo 等^[25] 研究显示, 在大桥南边水域靠近 A 和 B 监测位点之间有一个热点目击区, 这可能是该区域监测到较多中华白海豚活动的主要原因, 也是中华白海豚选择靠近该区域穿越桥梁的可能原因。

研究表明鲸豚动物的生活习性和栖息地利用具有比较明显的昼夜差异, 且大部分昼夜差异与人类活动或者食物分布密切相关, 其中人类活动对动物的昼夜差异影响较为显著^[26-27]。近来的一些研究也发现了人类活动导致的中华白海豚活动规律的昼夜模式差异, 包括在磨刀门河口水域和港珠澳大桥隧道上方水域的监测位研究^[23-24,28-29]。本研究中 4 个监测位点的声学监测结果均未发现明显的中华白

海豚昼夜节律,即使是人类活动相对密集的 A 点(靠近江海航道桥)和 C 点(靠近青州航道桥),也未观测到非常明显的中华白海豚活动规律的昼夜差异。目前还缺乏足够的证据表明这与珠江口水域以及港珠澳大桥在新冠疫情期间人类活动大为减少有关,但需要注意的是,随着新冠疫情结束,珠江口人类活动恢复正常和港珠澳大桥车流量持续性增加,中华白海豚如何重新适应这些人类活动值得持续关注。

潮汐是影响近岸鲸豚栖息地选择利用的一个非常重要的环境因素,许多研究表明潮汐变化会对鲸豚的栖息地选择利用产生一定影响^[30-32]。中华白海豚的栖息地受潮汐影响极为强烈,在对中华白海豚的研究中也发现潮汐变化与其对栖息地的选择利用有较强的相关性。Lin 等^[33-34]对台湾新虎尾河口中华白海豚的活动规律进行了声学监测发现,潮汐的 4 个阶段中华白海豚的出现存在显著区别,其中退潮阶段中华白海豚的发现率最低;Wang 等^[28]在珠江口桂山海上风电场测风塔的监测数据显示,涨潮阶段中华白海豚的出现率显著高于高潮阶段;Li 等^[35]发现中华白海豚在涨潮时更偏向于选择离河口更近的水域。本研究比较了不同监测位点在高潮位和低潮位、涨潮和落潮不同阶段发现中华白海豚的情况,结果表明潮汐变化对监测水域中华白海豚的栖息地利用有一定的影响且存在空间差异。相比高潮阶段,中华白海豚更偏好于低潮阶段在监测位点附近活动;而在涨、落潮阶段,A 和 B 点发现中华白海豚的概率非常接近,而 C 和 D 点涨潮阶段的发现概率均高于落潮阶段。在港珠澳大桥隧道上方水域,An 等^[29]的声学监测并未发现中华白海豚的活动与潮汐变化之间存在显著相关性。港珠澳大桥隧道上方水域是珠江口最为繁忙的国际航道,中华白海豚在隧道上方水域的声学活动夜晚比白天明显活跃^[29],表明航运是影响中华白海豚在该水域活动的主要因素。在大桥桥梁水域,中华白海豚受船只活动影响较小,潮汐是影响动物行为的主要环境因素,这可能是在桥梁和隧道水域潮汐对中华白海豚栖息地利用的影响存在差异的原因。

4 保护与管理建议

1) 加强对中华白海豚穿越港珠澳大桥通道水

域人类活动的管制,特别是重点穿越通道区域附近的非法渔业活动,保证中华白海豚正常穿越大桥不受干扰。

2) 随着港珠澳大桥通车量的持续增加,应坚持开展对大桥沿线水域中华白海豚栖息地利用的长期定点声学监测,包括桥梁和隧道水域。基于长期的监测数据有助于评估车流变化对中华白海豚栖息地的利用和穿越通道选择的影响,并根据相应的变化制定对应的管理保护措施,以减少车流噪声对中华白海豚穿越大桥的影响。

3) 丰富监测和调查方法,如增加光学监测和大桥沿线水域的鲸豚目视调查,尽量从不同的技术方法和研究角度掌握中华白海豚对港珠澳大桥水域栖息地的选择利用及穿越大桥情况,从而制定针对性的保护管理政策。

参考文献:

- [1] JEFFERSON T A, SMITH B D, BRAULIK G T, et al. *Sousa chinensis* (errata version published in 2018)[Z]. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T82031425A123794774. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T82031425A50372332.en>
- [2] JEFFERSON T A, KARCZMARSKI L. *Sousa chinensis*[J]. Mamm Species, 2001(655): 1-9.
- [3] JEFFERSON T A, SMITH B D. Chapter One-Re-assessment of the conservation status of the Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) using the IUCN Red List Criteria[M]//JEFFERSON T A, CURRY B E. Advances in Marine Biology. New York: Academic Press, 2016, 73: 1-26.
- [4] 雍李明, 张语克, 赵丽媛, 等. 中华白海豚生态学研究进展[J]. 生物多样性, 2023, 31(5): 22670.
- [5] 王先艳, 钟铭鼎, 吴福星, 等. 厦门湾中华白海豚面临的威胁与保护对策[J]. 应用海洋学报, 2021, 40(1): 154-162.
- [6] 王新星, 陈涛, 李敏, 等. 珠江口伶仃洋中华白海豚栖息地利用对海岸线等变迁的响应[J]. 生态学报, 2022, 42(7): 2962-2973.
- [7] CHEN T, HUNG S K, QIU Y S, et al. Distribution, abundance, and individual movements of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the Pearl River Estuary, China[J]. Mammalia, 2010, 74(2): 117-125.
- [8] LI M, WANG X X, HUNG S K, et al. Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the Moyang River Estuary: the western part of the world's largest population of humpback dolphins[J]. Aquat Conserv: Mar Freshw Ecosyst, 2019, 29(5): 798-808.
- [9] KARCZMARSKI L, HUANG S L, OR C K M, et al. Chapter Two-Humpback dolphins in Hong Kong and the Pearl River Delta: status, threats and conservation challenges[M]//JEFFERSON T A,

- CURRY B E. Advances in Marine Biology. New York: Academic Press, 2016, 73: 27-64.
- [10] HUANG S L, KARCZMARSKI L, CHEN J L, et al. Demography and population trends of the largest population of Indo-Pacific humpback dolphins[J]. Biol Conserv, 2012, 147(1): 234-242.
- [11] SUN X, GUO L, LUO D Y, et al. Long-term increase in mortality of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the Pearl River Estuary following anthropic activities: evidence from the stranded dolphin mortality analysis from 2003 to 2017[J]. Environ Pollut, 2022, 307(6): 119526.
- [12] 李英, 陈越. 港珠澳大桥岛隧工程的意义及技术难点[J]. 工程力学, 2011, 28(S2): 67-77.
- [13] 肖尤盛. 港珠澳大桥施工期和营运期的中华白海豚保护[J]. 中国水产, 2020(1): 57-59.
- [14] 温华, 段国钦, 黄志雄, 等. 港珠澳大桥主体工程建设期中华白海豚保护管理实践初探[J]. 海洋湖沼通报, 2016(3): 68-74.
- [15] 陶艳萍, 盛昭瀚. 重大工程环境责任的全景式决策: 以港珠澳大桥中华白海豚保护为例[J]. 环境保护, 2020, 48(23): 56-61.
- [16] ZIMMER W M X. Passive acoustic monitoring of cetaceans[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2011: 239-258.
- [17] MELLINGER D K, STAFFORD K M, MOORE S E, et al. An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans[J]. Oceanography, 2007, 20(4): 36-45.
- [18] USMAN A M, OGUNDILE O O, VERSFELD D J. Review of automatic detection and classification techniques for cetacean vocalization[J]. IEEE Access, 2020, 8: 105181-105206.
- [19] FANG L, LI S H, WANG K X, et al. Echolocation signals of free-ranging Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in Sanniang Bay, China[J]. J Acoust Soc Am, 2015, 138(3): 1346-1352.
- [20] WANG Z T, FANG L, SHI W J, et al. Whistle characteristics of free-ranging Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in Sanniang Bay, China[J]. J Acoust Soc Am, 2013, 133(4): 2479-2489.
- [21] HU W C, CHEN C F, CHOU L S. Acoustic ecological investigation of estuary habitat on Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) in Yunlin, Taiwan[J]. J Acoust Soc Am, 2020, 148(4_Sup.): 2773.
- [22] PINE M K, WANG K X, WANG D. Monitoring rising ambient sound levels from vessels and impacts on Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) occurrences[C]//Proceedings of Meetings on Acoustics, Dublin: Acoustical Society of America, 2016, 27: 070003.
- [23] FANG L, LIN W Z, GUO L, et al. Monitoring Indo-Pacific humpback dolphin occurrences in a highly urbanized estuary for informing conservation and management[J]. Aquat Conserv: Mar Freshw Ecosyst, 2021, 31(3): 685-695.
- [24] MUNGER L, LAMMERS M O, CIFUENTES M, et al. Indo-Pacific humpback dolphin occurrence north of Lantau Island, Hong Kong, based on year-round passive acoustic monitoring[J]. J Acoust Soc Am, 2016, 140(4): 2754-2765.
- [25] GUO L, LUO D Y, YU R Q, et al. Habitat decline of the largest known Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) population in poorly protected areas associated with the hypoxic zone[J]. Front Mar Sci, 2022, 9: 1048959.
- [26] SOLDEVILLA M S, WIGGINS S M, HILDEBRAND J A. Spatial and temporal patterns of Risso's dolphin echolocation in the Southern California Bight[J]. J Acoust Soc Am, 2010, 127(1): 124-132.
- [27] LEENEY R H, CARSLAKE D, ELWEN S H. Using static acoustic monitoring to describe echolocation behaviour of heaviside's dolphins (*Cephalorhynchus heavisidii*) in Namibia[J]. Aquat Mamm, 2011, 37(2): 151-160.
- [28] WANG Z T, NACHTIGALL P E, TOMONARI A, et al. Passive acoustic monitoring the diel, lunar, seasonal and tidal patterns in the biosonar activity of the Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the Pearl River Estuary, China[J]. PLoS One, 2015, 10(11): e0141807.
- [29] AN X, DUAN P X, LI W L, et al. Biosonar activity of the Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) near the tunnel section of the world's longest cross-sea bridge-the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge-is negatively correlated with underwater noise[J]. Front Mar Sci, 2023, 10: 1171709.
- [30] PAITACH R L, SIMÕES-LOPES P C, CREMER M J. Tidal and seasonal influences in dolphin habitat use in a southern Brazilian estuary[J]. Sci Mar, 2017, 81(1): 49-56.
- [31] FURY C A, HARRISON P L. Seasonal variation and tidal influences on estuarine use by bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) [J]. Estuar Coast Shelf Sci, 2011, 93(4): 389-395.
- [32] MENDES S, TURRELL W, LÜTKEBOHLE T, et al. Influence of the tidal cycle and a tidal intrusion front on the spatio-temporal distribution of coastal bottlenose dolphins[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2002, 239: 221-229.
- [33] LIN T H, AKAMATSU T, CHOU L S. Tidal influences on the habitat use of Indo-Pacific humpback dolphins in an estuary[J]. Mar Biol, 2013, 160: 1353-1363.
- [34] LIN T H, AKAMATSU T, CHOU L S. Seasonal distribution of Indo-Pacific humpback dolphins at an estuarine habitat: influences of upstream rainfall[J]. Estuar Coast, 2015, 38: 1376-1384.
- [35] LI S S, GAO H L, HAO X Q, et al. Seasonal, lunar and tidal influences on habitat use of Indo-Pacific humpback dolphins in Beibu Gulf, China[J]. Zool Stud, 2018, 57: e1.