

DOI: 10.5846/stxb202206081628

陈敏敏, 张康, 张平, 严燕, 张四刚, 王康伟, 于道平. 长江安庆段航道整治对长江江豚数量和分布的时空影响. 生态学报, 2023, 43(10): 4242-4249.  
Chen M M, Zhang K, Zhang P, Yan Y, Zhang S G, Wang K W, Yu D P. Spatio-temporal effects of waterway regulation engineering on population abundance and distribution of the Yangtze finless porpoise in Anqing section of the Yangtze River. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(10): 4242-4249.

# 长江安庆段航道整治对长江江豚数量和分布的时空影响

陈敏敏<sup>1</sup>, 张康<sup>1</sup>, 张平<sup>1</sup>, 严燕<sup>2</sup>, 张四刚<sup>2</sup>, 王康伟<sup>1</sup>, 于道平<sup>1,\*</sup>

1 水生生物保护与水生生态修复安徽省高等学校工程技术研究中心, 安庆师范大学生命科学院, 安庆 246133

2 安庆市水产技术推广中心站, 安庆 246002

**摘要:** 栖息地丧失和破碎化是威胁长江江豚 (*Neophocaena asiaeorientalis*) 种群长期发展的主要因素之一。航道整治工程是导致江豚栖息地丧失和破碎化的一个主要原因, 研究工程施工和运行对江豚数量和分布的影响可为江豚栖息地管护提供有益信息。通过对湖口-吉阳矾水域江豚数量和分布的持续调查, 分析了安庆段航道整治工程施工和运行对江豚的影响。12 次目视调查共在研究水域发现江豚 258 群次 613 头次, 工程施工前、施工期和初步运行期单次考察分别平均观察到江豚 (67.0±24.3) 头次、(35.6±22.2) 头次和 (50.0±2.8) 头次。在主要施工区共发现江豚 79 群次 185 头次, 施工前、施工期和初步运行期单次考察分别平均观察到江豚 (18.60±12.03) 头次、(10.4±7.3) 头次和 (20.0±4.2) 头次。工程不同时期主要施工区江豚的数量及占比在统计学上没有显著差异。主要施工区 S2 和 S3 工程段施工期江豚平均分布密度 ((0.18±0.17) 头/km、(0.04±0.08) 头/km) 较施工前 ((0.62±0.16) 头/km、(0.40±0.29) 头/km) 显著下降, S5 和 S6 工程段施工期平均分布密度 ((0.22±0.31) 头/km、(0.36±0.28) 头/km) 的下降较施工前 ((0.28±0.43) 头/km、(0.78±0.81) 头/km) 没有显著差异。运行期 S2、S5 和 S6 段江豚分布密度虽有较大程度恢复但分布连续性降低, S3 段由于主要栖息地被水工建筑高度破坏, 江豚分布密度仍停留在施工期水平, 江豚向其相邻的非工程段集中。因此, 本研究认为航道整治工程短期内不会对主要施工区江豚数量产生明显影响, 但工程施工和运行会改变江豚分布格局, 江豚向未受水工建筑干扰的栖息地集中, 分布斑块化加剧。本研究建议航道整治工程设计要充分考虑到对江豚分布格局的影响并注意保持栖息地斑块的自然连贯性, 以降低江豚迁移受阻和分布破碎化的风险。

**关键词:** 长江江豚; 航道整治; 固化河岸; 栖息地破碎化; 栖息地保护

## Spatio-temporal effects of waterway regulation engineering on population abundance and distribution of the Yangtze finless porpoise in Anqing section of the Yangtze River

CHEN Minmin<sup>1</sup>, ZHANG Kang<sup>1</sup>, ZHANG Ping<sup>1</sup>, YAN Yan<sup>2</sup>, ZHANG Sigang<sup>2</sup>, WANG Kangwei<sup>1</sup>, YU Daoping<sup>1,\*</sup>

1 Research Center of Aquatic Organism Conservation and Water Ecosystem Restoration of Anhui Education Department, College of Life Science, Anqing Normal University, Anqing 246133, China

2 Anqing Aquatic Technology Promotion Centre, Anqing 246002, China

**Abstract:** The Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis*) is a critically endangered freshwater cetacean endemic to the Yangtze River, China. Habitat loss and fragmentation caused by anthropogenic disturbance such as waterway regulation engineering can be the most influential factor threatening the Yangtze finless porpoise population. Previous studies

**基金项目:** 交通部长江航道局航道整治工程生态补偿项目

**收稿日期:** 2022-06-08; **采用日期:** 2023-02-17

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ahyudp@126.com

mainly focused on effects of existing hydraulic structures on distribution of the Yangtze finless porpoise. For their habitat conservation, it is essential to understand spatio-temporal effects of waterway regulation engineering on population abundance and distribution of the Yangtze finless porpoise. In the present study, 12 population surveys were conducted from December 2015 to December 2021 on Hukou-Jiyangji section of the Yangtze River, in which an Anqing waterway regulation engineering was implemented from January 2019 to April 2021. Among them, there were 5 visual surveys conducted in pre-construction stage, 5 in construction stage, and 2 in post-construction stage. Through the whole study, 613 finless porpoises were observed in 258 sightings in the whole survey area. In a single survey, averages of observed porpoises were  $67.0 \pm 24.3$ ,  $35.6 \pm 22.2$  and  $50.0 \pm 2.8$  in pre-construction, construction, and post-construction stages, respectively. In the main construction area, 185 individuals were observed in 79 sightings, and averages of observed porpoises were  $18.60 \pm 12.03$  in pre-construction stage,  $10.4 \pm 7.3$  in construction stage, and  $20.0 \pm 4.2$  in post-construction stage, among which no significant difference was detected. These inferred that the waterway regulation engineering would not cause obvious porpoises abundance decline in the main construction area in short term. In the main construction area, population density in engineering sections S2 and S3 decreased significantly in construction stage (S2:  $0.18 \pm 0.17$  ind./km, S3:  $0.04 \pm 0.08$  ind./km) from pre-construction stage (S2:  $0.62 \pm 0.16$  ind./km, S3:  $0.40 \pm 0.29$  ind./km). In engineering sections S5 and S6, no significant decreases were detected between population density in construction stage (S5:  $0.22 \pm 0.31$  ind./km, S6:  $0.36 \pm 0.28$  ind./km) and pre-construction stage (S5:  $0.28 \pm 0.43$  ind./km, S6:  $0.78 \pm 0.81$  ind./km). In post-construction stage, the population density was recovered to a great extent in S2, S5 and S6, except for S3 due to the high habitat destruction. During construction and post-construction stages, porpoises distribution continuity decreased by gathering to undisturbed habitat patches. Our findings indicated porpoise population might be not impacted during the construction and operation of waterway regulation engineering, but hydraulic constructions destruct their habitat could lead to fragmentation of population distribution. The waterway regulation engineering should detour porpoises' suitable habitats and preserve natural continuity of habitat patches, to reduce the risk of migration obstruction and population fragmentation.

**Key Words:** the Yangtze finless porpoise; water regulation engineering; reinforced riverbank; habitat fragmentation; habitat protection

淡水鲸类动物主要栖息在河流及附属湖泊中,其种群长期发展依赖河流生态系统的稳定<sup>[1]</sup>。作为与人类接触最密切的自然生态系统,河流生态系统遭受了水坝建设、航道建设、城镇发展、农业开发等多重破坏,生物多样性严重下降<sup>[2]</sup>。生活在河流中的淡水鲸类也因为栖息地丧失、破碎化和食物资源短缺等因素,普遍处于功能性灭绝、极度濒危或者濒危状态<sup>[3-12]</sup>。

长江江豚是世界上六种珍稀淡水鲸类动物之一<sup>[1]</sup>,我国一级重点保护野生动物。长江中下游干流及两个附属湖泊是长江江豚仅有的栖息地<sup>[13]</sup>。在过去几十年中,长江江豚种群数量快速衰退,尤其是自 20 世纪 90 年代至今,其种群迅速下降至极度濒危状态<sup>[14-17]</sup>。目前,长江江豚的种群数量仅剩约 1000 头,其中长江干流仅约 450 头<sup>[17]</sup>。食物资源短缺和栖息地丧失是导致江豚种群下降的两大主要因素<sup>[9]</sup>。可喜的是自 2019 年开始,为保护长江生态环境,恢复长江生物多样性,长江流域开展了“十年禁渔”。随着该措施的实施,预计食物资源短缺对江豚种群长期生存的威胁在未来将逐渐减缓。然而逐渐增加的航运、码头、航道整治工程等充斥着整个长江包括长江江豚自然保护区,成为压缩江豚栖息地和导致栖息地破碎化的主要因素<sup>[18-20]</sup>。其中,航道整治工程对江豚栖息地的影响尤为严重,这些工程主要集中在自然的浅滩、洲头和洲尾等江豚重要栖息地,工程常形成大量水工建筑如固化河岸、抛石护底、潜水坝等,彻底改变了江豚栖息所需的水域环境,造成栖息地丧失。已有研究发现长江江豚的分布密度与固化河岸长度呈显著负相关<sup>[18]</sup>,固化河岸导致自然河岸的破碎化可能是江豚分布破碎化的主要因素之一<sup>[19]</sup>。

航道整治对江豚的影响研究较少,主要是分析已有航道整治水工建筑对江豚分布或栖息地的影响<sup>[18-19]</sup>,

或是定性描述其影响方式<sup>[21]</sup>。到目前为止,江豚的数量和分布在时空上如何响应航道整治对栖息地的干扰仍没有被定量研究。于道平等<sup>[22]</sup>虽然发现东流河道航道整治后江豚数量明显下降,但其江豚数量调查时间跨度较久(1994—2011年),干流江豚种群本身在此时间段就经历了快速衰退<sup>[15-16]</sup>,因此该研究结果难以客观反映航道整治对江豚数量的影响。了解航道整治不同时期(施工前、施工期和运行期)施工水域江豚数量和分布的时空变动,不仅有助于更好地了解航道整治工程对江豚的影响,还可为施工期和运行期江豚的动态保护、航道整治工程设计,以及工程对江豚的影响评价等提供有效支撑,是十分必要的。长江安庆江段是江豚分布密度最高的江段之一<sup>[23-24]</sup>,也是航道整治较为密集的江段。2019年初—2021年4月,该江段马当-东流水道的心滩、瓜子洲、老虎滩和玉带洲4处洲滩水域开展了航道整治。本研究将通过比较工程施工前、施工期和初步运行期主要施工区及上下游水域江豚的数量和分布差异,研究工程对江豚数量和分布格局的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究水域与研究时间

研究水域为湖口-吉阳矶水域,全长约120 km,将整个水域等分为12段,每段约10 km。航道整治工程主要施工区位于S2—S8段(图1),工程段为S2段(玉带洲右缘护岸工程)、S3段(老虎滩洲头洲尾疏浚和洲侧护岸工程)、S5段(瓜子洲护滩工程)和S6段(心滩潜水坝加高工程)。工程于2019年开始施工,2021年4月施工结束。江豚数量和分布调查分为三个时间段进行,施工前:2015年12月、2016年6月和12月、2017年4月和12月,各调查一次;施工期:2020年6月、8月、10月、12月和2021年1月,各调查一次;初步运行期:2021年12月初和12月尾,各调查一次。

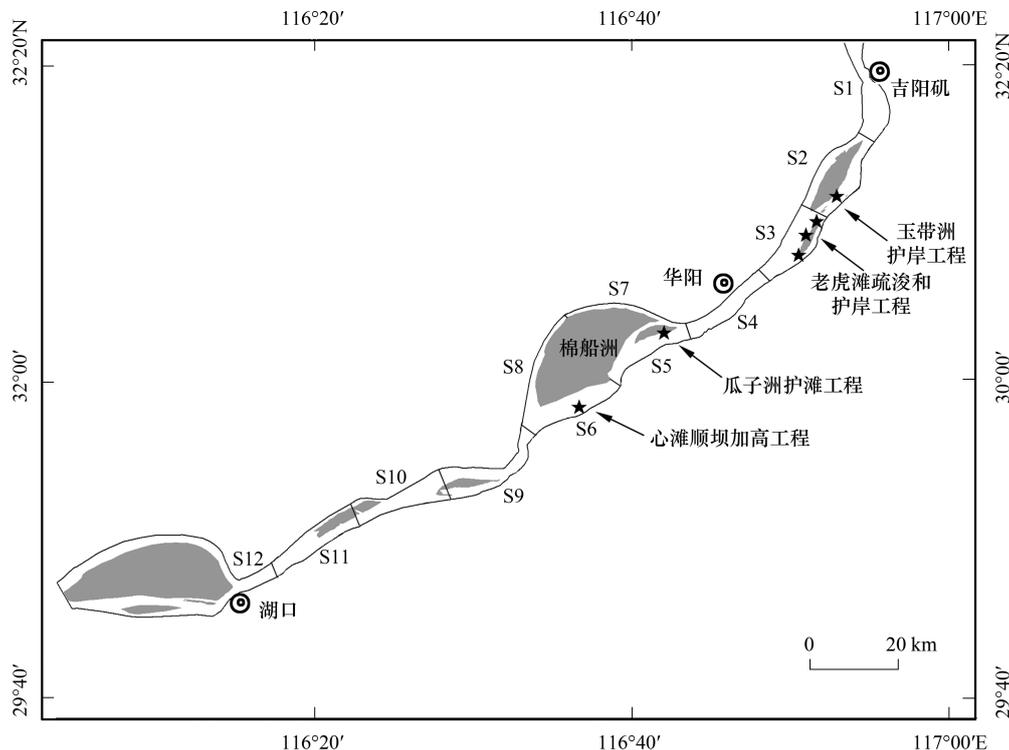


图1 研究水域及航道整治工程点分布

Fig.1 The study area and distribution of the water regulation engineering

S1—S12:研究水域分段 Section1—Section12

### 1.2 研究方法

江豚目视数量和分布的调查方法采用基于小型船只的截线抽样法,即利用小型渔船作为目视观测平台,

沿长江和沙洲两岸,对近岸 300 m 水域内的江豚数量和分布进行考察。在长江干流中,约有 80% 的长江江豚栖息在近岸 300 m 水域内<sup>[14,25]</sup>。因此,近岸考察结果能很好地反应江豚的数量和分布特征。具体调查和记录方法请参照陈敏敏等<sup>[18]</sup>。

采用 Kruskal-Wallis 方差分析比较施工前、施工期和初步运行期,湖口-吉阳矾水域和主要施工区江豚目视观察数量的差异、集群规模的差异,采用 Dunn-Bonferroni 检验进行多重比较。统计分析均利用 SPSS 19.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) 进行。不同时期不同江段江豚的近岸分布密度基于目视观察数据算得,即  $\rho = N/L$ ,其中  $N$  为单次考察该段目视观察到的江豚头次, $L$  为江段长度。采用 Mann-Whitney U-test 比较施工前后平均分布密度差异。显著水平  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 江豚目视观察数量

2015 年 12 月—2021 年 12 月在湖口-吉阳矾水域共进行了 12 次调查,共观察到江豚 258 群次 613 头次,施工前、施工期和初步运行期单次考察平均分别观察到江豚(67.0±24.3)头次、(35.6±22.2)头次和(50.0±2.8)头次。在主要施工区 S2—S8 江段,共观察到江豚 79 群次 185 头次,施工前、施工期和初步运行期单次考察平均分别在施工区观察到江豚(18.60±12.03)头次、(10.4±7.3)头次和(20.0±4.2)头次(表 1)。Kruskal-Wallis 方差分析显示,施工前,施工期和初步运行期,湖口-吉阳矾水域及主要施工区江豚目视观察数量没有显著差异(湖口-吉阳矾,  $\chi^2 = 3.919$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0.141$ ; 主要施工区,  $\chi^2 = 2.038$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0.361$ )。三个时期,主要施工区江豚目视观察数量占整个研究水域的占比也没有显著差异(表 1,  $\chi^2 = 3.023$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0.221$ )。

表 1 工程不同时期观察到的江豚群次和数量

Table 1 Number of groups and porpoises observed during different stages of the engineering

时期 Stages	时间(年-月-日) Time	湖口-吉阳矾江段 Hukou-Jiyangji section		主要施工区 Main construction area		占比 Ratio/%
		群次 Number of groups	数量 Number of porpoises	群次 Number of groups	数量 Number of porpoises	
		工程施工前 Pre-construction stage	2015-12	44	107	
	2016-06	27	65	10	26	40.0
	2016-12	21	52	7	12	23.1
	2017-04	18	44	1	3	6.80
	2017-12	24	67	7	18	26.9
	均值	26.8±10.2	67.0±24.3	7.60±4.45	18.60±12.03	—
工程施工期 Construction stage	2020-06	28	73	8	21	28.8
	2020-08	15	27	2	5	18.5
	2020-10	18	25	5	7	28.0
	2020-12	17	37	8	15	40.5
	2021-01	10	16	3	4	25.0
	均值	17.6±6.6	35.6±22.2	5.2±2.8	10.4±7.3	—
初步运行期 Post-construction stage	2022-12-01	19	52	8	17	32.70
	2022-12-02	17	48	7	23	47.90
	均值	18.0±1.4	50.0±2.8	7.5±0.7	20.0±4.2	—

“占比”为主要施工区江豚数量占湖口-吉阳矾水域数量的比例

### 2.2 集群规模

施工前,整个研究水域观察到江豚群体大小 1—9 头,平均群体大小 2.51±1.51;主要施工区观察到江豚群体大小 1—6 头,平均群体大小 2.35±1.29(图 2)。施工期,研究水域观察到江豚群体大小 1—7 头,平均群体大小 1.82±0.93;主要施工区观察到江豚群体大小 1—5 头,平均群体大小 1.88±0.89。初步运行期,研究水域

观察到江豚群体大小 1—9 头,平均群体大小  $2.68 \pm 1.81$ ;主要施工区观察到江豚群体大小 1—9,平均群体大小  $2.61 \pm 1.91$ 。三个时期整个研究水域江豚群体大小之间存在显著差异 ( $\chi^2 = 16.393, df = 2, P = 0.000$ ),主要表现为施工前与初步运行期的江豚群体大小显著大于施工期。但是,三个时期主要施工区江豚群体大小之间没有显著差异 ( $\chi^2 = 3.094, df = 2, P = 0.213$ )。

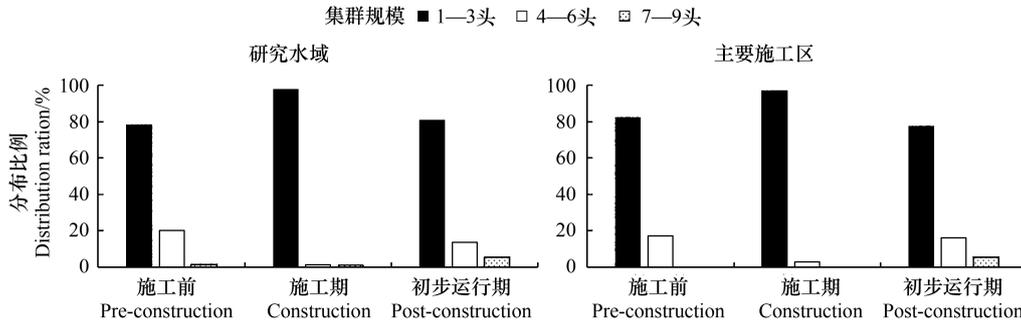


图 2 工程不同时期江豚集群规模

Fig.2 Group size of porpoises during different stages of the engineering

### 2.3 江豚分布

在主要施工区中, S2、S3、S5 和 S6 四个工程段施工前江豚平均分布密度分别为  $(0.62 \pm 0.16)$  头/km、 $(0.40 \pm 0.29)$  头/km、 $(0.28 \pm 0.43)$  头/km 和  $(0.78 \pm 0.81)$  头/km; 施工期分别为  $(0.18 \pm 0.17)$  头/km、 $(0.04 \pm 0.08)$  头/km、 $(0.22 \pm 0.31)$  头/km 和  $(0.36 \pm 0.28)$  头/km; 运行期分别为  $(0.40 \pm 0.28)$  头/km、 $(0.05 \pm 0.07)$  头/km、 $(0.40 \pm 0.14)$  头/km 和  $(0.80 \pm 0.98)$  头/km。S5 和 S6 段施工期江豚平均分布密度较施工前下降不显著 (S5:  $Z = -0.64, P = 0.52$ ; S6:  $Z = -0.85, P = 0.39$ ), S2 和 S3 段施工期江豚平均分布密度较施工前显著下降 (S2:  $Z = -2.53, P = 0.01$ ; S3:  $Z = -2.01, P = 0.04$ )。主要施工区非工程段 S4 段施工前、施工期和施工后江豚平均分布密度分别为  $(0.36 \pm 0.41)$  头/km、 $(0.30 \pm 0.20)$  头/km 和  $(0.70 \pm 0.42)$  头/km, 施工期较施工前下降不显著 ( $Z = -0.11, P = 0.91$ )。江豚在 S7 和 S8 段平均分布密度低, 在不同时期略有变化 (图 3)。整体上, 2015—2017 年江豚在湖口—吉阳矾呈现连续分布 (图 4), 工程实施后 S2—S3 段和 S5—S6 段出现极低密度分布区 (图 5)。

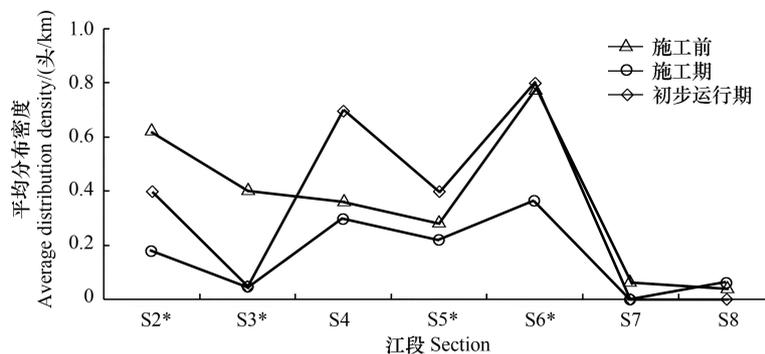


图 3 主要施工区各江段江豚平均分布密度

Fig.3 Distribution density of porpoises in different sections of the main construction area

\* 所示江段为工程段

### 3 讨论

本研究通过对航道整治主要施工区及上下游水域江豚数量和分布持续多年监测,详细分析了航道整治施工前、施工期和初步运行期,江豚数量、集群规模以及分布的变动。研究显示航道整治工程的施工和初步运行

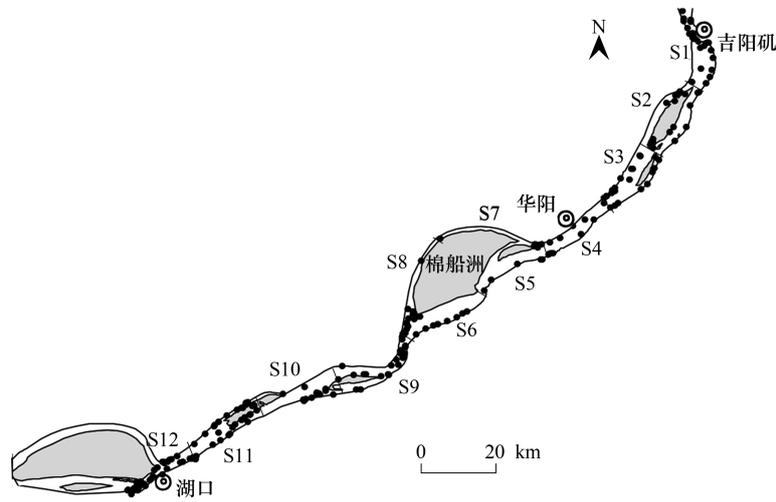


图 4 施工前研究水域江豚分布

Fig.4 Distribution of porpoises in the study area in pre-construction stage

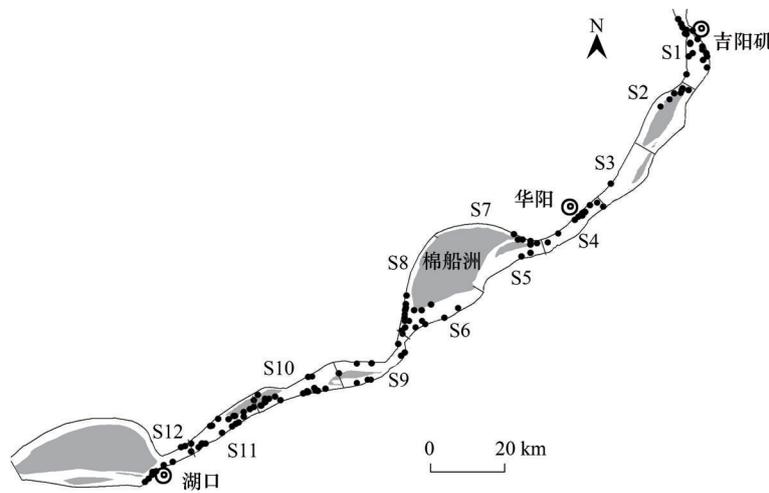


图 5 施工期和初步运行期研究水域江豚分布

Fig.5 Distribution of porpoises in the study area in construction and post-construction stages

对主要施工区江豚的数量及集群规模没有明显影响,但对江豚的分布格局影响较大。工程施工和初步运行对江豚数量没有明显影响主要体现在三点。首先,虽然主要施工区施工前和施工后江豚目视数量相当,施工期江豚目视数量减少,但是统计学分析发现,三个时期主要施工区江豚目视数量的差异并没有达到显著水平。其次,主要施工区江豚目视数量的变动趋势与整个研究水域的变动趋势相一致。从整个研究水域来看,江豚目视数量也存在施工前和初步运行期高于施工期的现象(差异不显著)。第三,主要施工区江豚目视数量占整个研究水域目视数量的比例在施工前、施工期和初步运行期没有明显变化(表 1),在统计学上也没有显著差异。因此推测,工程施工没有造成江豚数量显著降低。以往研究表明,虽然长江江豚地理种群不像海洋鲸类那样做长距离迁徙,但是也存在短距离迁移现象<sup>[26-30]</sup>,因此,本研究在三个时期观察到的数量变动很可能与地理种群数量的自然变动有关。另外,2020 年为洪水年,较高的水位使得江面更加宽阔,江豚活动空间大,影响目视观察效率,这也可能是施工期观察到的江豚数量相对较少的原因之一。一般来说,工程施工短期内对江豚数量产生影响最主要的原因就是意外伤害。随着长江生态大保护工作的高强度推进,航道整治工程施

工前和施工期均采取了充分的江豚保护措施,比如实时监测、巡护、宣传宣教等,这些措施的实施将施工期江豚意外伤害降到了最低,从而使工程短期内对江豚数量的影响降到最低。

安庆段航道整治工程施工和运行均对主要施工区江豚的分布格局产生较大影响。S2 和 S3 工程段施工期江豚分布密度较施工前显著降低,S6 工程段施工期江豚分布密度下降虽然没有达到显著水平,但较非工程段以及对栖息地干扰较小的 S5 工程段下降幅度更大。S2 段为玉带洲右缘护岸工程,S3 段为老虎滩疏浚和加固工程,S6 为心滩底坝加固工程。玉带洲洲头及右缘、老虎滩和心滩均属于自然浅水沙洲水域,属于江豚喜爱的栖息地类型<sup>[14,24,30-32]</sup>,从图 4 可以看出,施工前工程所处位点均是江豚栖息水域,江豚呈连续分布。施工期 S2 和 S3 工程段没有或仅有零星江豚分布,S6 工程段江豚远离心滩施工点,主要分布在棉船洲洲头水域(图 5)。工程建设、施工船舶、水下噪音、水文搅动等对江豚栖息地直接或者间接占据,是施工期江豚远离这些水域的主要因素<sup>[21,33]</sup>。S5 段虽然也有瓜子洲护滩带工程,但该段江豚平均分布密度比施工前仅略有下降,这可能是由于 S5 段工程位于瓜子洲南侧。从图 4 可以看出,施工前瓜子洲南侧并不是江豚分布区,该段江豚主要分布在棉船洲洲尾汇流区及长江南侧江岸。因此,瓜子洲南侧工程施工没有影响到洲尾汇流区江豚的分布。

本次航道整治工程 4 处施工点均有水工建筑,S6 段为浅水坝,其余 3 处为固化河岸。本次工程 2021 年 4 月份施工结束,2021 年 12 月份两次调查发现,S6 段江豚平均分布密度回升到施工前水平;S2 段平均分布密度较施工期有所回升,但未达到施工前水平;S3 段平均分布密度仍停留在施工期水平,较施工前大幅度降低。S2 和 S6 段虽然有部分栖息地被水工建筑侵占,但这两个江段仍有较多江豚栖息水域,比如 S6 段的棉船洲洲头大片浅滩水域、S2 段玉带洲左缘和洲尾汇流水域。因此工程结束后,随着施工船舶、水下噪音、水文搅动等不利因素的减少,S2 和 S6 段江豚分布有所恢复,但仍然远离工程点向邻近适宜水域集中,如 S6 段江豚主要集中分布在棉船洲洲头,S2 段江豚主要集中分布在洲左缘-洲尾,分布连续性下降。工程结束后,S3 段江豚平均分布密度仍然停留在施工期水平。从图 4 可以看出,S3 段江豚的主要栖息地是老虎滩水域,该段的工程也主要集中在老虎滩,包括老虎滩洲头和洲尾疏浚、洲侧河岸固化。施工结束后,老虎滩水域自然缓坡浅滩消失、河床和河岸固化、水流加速,不再适宜江豚栖息。主要栖息地被高度破坏可能是运行期 S3 段江豚分布密度得不到恢复的主要原因。相反,S3 的上游江段即 S4 和 S5 段在运行期江豚平均分布密度要高于施工前水平,尤其是与 S3 相邻的非工程段 S4 段,江豚分布密度为施工前的 2 倍,推测这可能是江豚对 S3 段主要栖息地丢失的响应。以往研究表明,随着栖息地的萎缩和破碎化,淡水鲸类动物会逐渐集中靠拢,且呈斑块化分布<sup>[34]</sup>。S4—S5 段是自然浅滩发育充分的水域,且拥有较大的洲尾汇流区,这些均是江豚主要栖息地斑块<sup>[14,24,30-32]</sup>,且几乎没有受到工程影响。因此推测,S3 段栖息地丢失后,江豚更多向 S4—S5 水域集中,导致 S4—S5 段江豚分布密度高于施工前水平。

总之,安庆段航道整治工程短期内并没有对江豚数量产生影响,但对江豚分布格局产生明显影响,主要表现为江豚更加集中地分布在未受干扰的适宜栖息地斑块,整体上分布连续性降低、斑块化加剧。以往研究也曾发现干流存在众多江豚极低密度分布区,这些极低密度分布区多出现在固化河岸水域,并推测固化河岸可能对江豚栖息地造成侵占<sup>[18-19]</sup>。本研究通过施工前后江豚分布的对比,进一步证实了河岸固化等水工建筑可导致江豚对原有栖息地的放弃,向邻近适宜栖息地聚集。当前,长江江豚面临的最主要压力就是栖息地萎缩和破碎化。基于研究结果我们建议:(1)航道整治工程应尽量避让江豚主要栖息地斑块,或者尽量降低对某一栖息地斑块的占用比例,给江豚留出栖息空间;(2)航道整治水工建筑位点和体量设计要充分考虑对江豚分布格局的影响,要注意保持栖息地斑块的自然连贯性,以降低江豚迁移受阻和分布破碎化的风险。

#### 参考文献 (References):

- [1] Smith B D, Reeves R R. River cetaceans and habitat change: generalist resilience or specialist vulnerability? *Journal of Marine Biology*, 2012, 2012: 1-11.
- [2] Tockner K, Bunn S E, Gordon C, Naiman R J, Quinn G P, Stanford J A. Flood Plains: critically threatened ecosystems. *Aquatic Ecosystems*.

- Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 45-62.
- [ 3 ] Smith B D. 1990 Status and conservation of the Ganges River dolphin *Platanista gangetica* in the Karnali River, Nepal. *Biological Conservation*, 1993, 66(3): 159-169.
- [ 4 ] Behera S K. Studies on population dynamics, habitat utilization and conservation aspects of for Gangetic dolphin (*Platanista gangetica*) in a stretch of Ganga River from Rishelesh to Kanpur. PhD dissertation, 1995, Jiwaji University, Gwalior, India.
- [ 5 ] Reeves R R, Smith B D, Kasuya T. Biology and conservation of freshwater cetaceans in Asia. Gland, Switzerland: Iucn, 2000.
- [ 6 ] Krieb D, Budiono. Conservation management of small core areas: key to survival of a Critically Endangered population of Irrawaddy River dolphins *Orcaella brevirostris* in Indonesia. *Oryx*, 2005, 39(2): 178-188.
- [ 7 ] Beasley I L. Conservation of the Irrawaddy Dolphin *Orcaella brevirostris* in the Mekong River: Biological and Social Considerations Influencing Management[D].Townsville: James Cook University, 2007.
- [ 8 ] Turvey S T, Pitman R L, Taylor B L, Barlow J, Akamatsu T, Barrett L A, Zhao X J, Reeves R R, Stewart B S, Wang K X, Wei Z, Zhang X F, Pusser L T, Richlen M, Brandon J R, Wang D. First human-caused extinction of a cetacean species? *Biology Letters*, 2007, 3(5): 537-540.
- [ 9 ] Wang D. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(19): 3473.
- [ 10 ] Braulik G T, Reichert A P, Ehsan T, Khan S, Northridge S P, Alexander J S, Garstang R. Habitat use by a freshwater dolphin in the low-water season. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2012, 22(4): 533-546.
- [ 11 ] Braulik G T, Arshad M, Noureen U, Northridge S P. Habitat fragmentation and species extirpation in freshwater ecosystems; causes of range decline of the Indus River dolphin (*Platanista gangetica minor*). *PLoS One*, 2014, 9(7): e101657.
- [ 12 ] International Union for Conservation of Nature. IUCN Red List of Threatened Species, 2013, 2013(2), Available at: <http://www.iucnredlist.org>.
- [ 13 ] 高安利, 周开亚. 中国水域江豚外形的地理变异和江豚的三亚种. *兽类学报*, 1995, 15(2): 81-92.
- [ 14 ] 张先锋, 刘仁俊, 赵庆中, 张国成, 魏卓, 王小强, 杨健. 长江中下游江豚种群现状评价. *兽类学报*, 1993, 13(4): 260-270.
- [ 15 ] Mei Z G, Zhang X Q, Huang S L, Zhao X J, Hao Y J, Zhang L, Qian Z Y, Zheng J S, Wang K X, Wang D. The Yangtze finless porpoise: on an accelerating path to extinction? *Biological Conservation*, 2014, 172: 117-123.
- [ 16 ] Zhao X J, Barlow J, Taylor B L, Pitman R L, Wang K X, Wei Z, Stewart B S, Turvey S T, Akamatsu T, Reeves R R, Wang D. Abundance and conservation status of the Yangtze finless porpoise in the Yangtze River, China. *Biological Conservation*, 2008, 141(12): 3006-3018.
- [ 17 ] Huang J, Mei Z G, Chen M, Han Y, Zhang X Q, Moore J E, Zhao X J, Hao Y J, Wang K X, Wang D. Population survey showing hope for population recovery of the critically endangered Yangtze finless porpoise. *Biological Conservation*, 2020, 241: 108315.
- [ 18 ] 陈敏敏, 刘志刚, 黄杰, 连玉喜, 杨晓鸽, 于道平. 固化河岸对长江江豚栖息活动的影响. *生态学报*, 2018, 38(3): 945-952.
- [ 19 ] 章晋秀, 陈懋, 韩祎, 雷珮玉, 王克雄, 梅志刚, 王丁. 长江中下游干流江豚岸线栖息地质量评估. *水生生物学报*, 2019, 43(S1): 56-61.
- [ 20 ] Mei Z G, Han Y, Turvey S T, Liu J J, Wang Z T, Nabi G, Chen M, Lei P Y, Hao Y J, Wang K X, Barlow J, Wang D. Mitigating the effect of shipping on freshwater cetaceans: the case study of the Yangtze finless porpoise. *Biological Conservation*, 2021, 257: 109132.
- [ 21 ] 王克雄, 王丁. 航道整治工程对长江江豚影响及缓解措施分析. *环境影响评价*, 2015, 37(3): 13-17.
- [ 22 ] 于道平, 黄敏毅, 赵凯, 陈寿文. 长江东流河道整治对长江江豚种群数量的影响. *兽类学报*, 2012, 32(4): 330-334.
- [ 23 ] Zhao X, Wang D, Turvey S T, Taylor B, Akamatsu T. Distribution patterns of Yangtze finless porpoises in the Yangtze River; implications for reserve management. *Animal Conservation*, 2013, 16(5): 509-518.
- [ 24 ] Chen M M, Yu D P, Lian Y X, Liu Z G. Population abundance and habitat preference of the Yangtze finless porpoise in the highest density section of the Yangtze River. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2020, 30(6): 1088-1097.
- [ 25 ] 赵修江. 河流系统鲸豚类种群数量调查方法探索及其应用研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2009.
- [ 26 ] Chen M M, Zhang X K, Wang K X, Liu Z G, Wan A, Yu D P, Ji H, Peng F Z. Spatial and temporal distribution dynamics of the Yangtze finless porpoise at the confluence of the Yangtze and wanhe rivers: implications for conservation. *Pakistan Journal of Zoology*, 2017, 49(6): 2263-2269.
- [ 27 ] 王子璇, 陈敏敏, 王康伟, 连玉喜, 于道平. 不同流态中长江江豚的栖息活动比较. *兽类学报*, 2022, 42(2): 152-158.
- [ 28 ] Chen M M, Yu D P, Wang K W, Zhang K, Wang Z X. Seasonal and diel activities of the Yangtze finless porpoise in natural and highly disturbed habitats: implications for conservation planning of freshwater cetaceans. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2022, 32(4): 605-616.
- [ 29 ] Kimura S, Akamatsu T, Li S H, Dong L J, Wang K X, Wang D, Arai N. Seasonal changes in the local distribution of Yangtze finless porpoises related to fish presence. *Marine Mammal Science*, 2012, 28(2): 308-324.
- [ 30 ] 魏卓, 王丁, 张先锋, 赵庆中, 王克雄, 匡新安. 长江八里江江段江豚种群数量、行为及其活动规律与保护. *长江流域资源与环境*, 2002, 11(5): 427-432.
- [ 31 ] 魏卓, 张先锋, 王克雄, 赵庆中, 匡新安, 王小强, 王丁. 长江江豚对八里江江段的利用及其栖息地现状的初步评价. *动物学报*, 2003, 49(2): 163-170.
- [ 32 ] 于道平, 王江, 杨光, 章贤. 长江湖口至荻港段江豚春季对生境选择的初步分析. *兽类学报*, 2005, 25(3): 302-306.
- [ 33 ] Li S H, Wang K X, Wang D, Akamatsu T. Echolocation signals of the free-ranging Yangtze finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2005, 117(5): 3288-3296.
- [ 34 ] Lomolino M V, Channell R. Splendid isolation: patterns of geographic range collapse in endangered mammals. *Journal of Mammalogy*, 1995, 76(2): 335-347.