

学校编码：10384

密级_____

学号：22320161151328

廈門大學

碩 士 學 位 論 文

中国海域海龟迁移特征与产卵场现状
Migration Pattern and Nesting Ground Status of Sea Turtles
in China Seas

贾语嫣

指导教师姓名：刘敏 教授

专 业 名 称：海洋生物

论文提交日期：2019 年 5 月

论文答辩时间：2019 年 5 月

2019 年 05 月

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

() 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的涉密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

() 2. 不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。涉密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

海龟是一类大型海水生爬行动物，在我国海域内共有 5 种海龟，包括：蠓龟 (*Caretta caretta*)，绿海龟 (*Chelonia mydas*)，玳瑁 (*Eretmochelys imbricata*)，太平洋丽龟 (*Lepidochelys olivacea*) 和棱皮龟 (*Dermochelys coriacea*)。5 种海龟均收录在《濒危野生动植物种国际贸易公约》(简称：华盛顿公约；英文缩写：CITES) 附录 I 中，在我国均为国家二级保护动物。根据《世界自然保护联盟》红色名录 (IUCN Red List) 的濒危等级评估结果，玳瑁为“极危 (CR)”等级 (2008)，绿海龟为“濒危 (EN)” (2004)，蠓龟、太平洋丽龟和棱皮龟为“易危 (VN)” (2015; 2008; 2013)。

本研究第一个板块为中国海域海龟迁移特征的研究。为了进一步了解我国海域内海龟迁移特征与栖息地的分布，本研究于 2016 年 6 月至 2019 年 5 月，使用卫星定位仪标记了被误捕和救护的 17 只海龟，包括绿海龟 9 只，蠓龟 6 只和太平洋丽龟 2 只。分别于广西北海海域释放 1 只，福建东山释放 11 只，以及福建厦门释放 5 只。追踪天数从 5 天至 291 天不等，累积追踪 1504 天。结果表明，其迁移路径涉及范围很广，北至北纬 $33^{\circ}28'$ ，南至北纬 $6^{\circ}21'$ ，东至东经 $129^{\circ}48'$ ，西至东经 $105^{\circ}36'$ ，遍布东海和南海海域。其活动范围也涉及到韩国、日本、菲律宾和越南等国家的海域。其分布呈现比较明显的偏近岸偏浅海区生活的特点，仅有两只绿海龟穿越南海进入菲律宾近岸。绿海龟的迁移路径局限在台湾海峡以南的海域，而 1 只蠓龟和 1 只太平洋丽龟，通过台湾海峡向北迁移至东海海域。研究结果表明台湾海峡是我国海龟迁移的重要通道。

海龟活动的热点地区，主要有菲律宾吕宋岛北部及南部沿岸海域、北部湾、广东雷州半岛-阳江海域、东沙岛附近海域、汕头-汕尾近海、台湾海峡南部峡口、福建莆田近岸、台湾澎湖列岛、台湾西南部及北部沿岸、长江口近海海域、济州岛南部海域等。其中绿海龟的逗留区域更偏近岸海域，与其以近岸丰富的海草床和珊瑚礁区为觅食场的习性相适应。而蠓龟和太平洋丽龟的逗留区域则更贴近我国各大渔场区，与其捕食无脊椎动物和小型鱼类的食性相适应。

本研究第二个板块为：中国西沙群岛绿海龟繁殖力和产卵场环境因子的研究。在 2016-2018 年间，三沙市政府对宣德群岛七连屿进行了连续 3 年的海龟产卵监测，分别记录蛋窝 152、172、122 窝，证实西沙群岛是我国现存最大绿海龟产卵

场。为了更好了解西沙群岛绿海龟的产卵现状和繁殖力,分析产卵场的环境因子,本研究于 2017 年 8 月和 9 月以及 2018 年 8 月共巡视西沙群岛的 11 个岛屿,包括宣德群岛的北岛、中岛、南岛、西沙洲、北沙洲、中沙洲、南沙洲、赵述岛和永兴岛,以及永乐群岛的晋卿岛和广金岛。对各岛的蛋窝位置进行卫星定位并对蛋窝的基本信息进行记录;收集龟蛋数/窝的数据,计算稚龟孵化率和繁殖力(又称:出坑率);记录上岸产卵雌龟的基本信息;蛋穴孵化温度的采集;以及产卵场沙滩沙粒度的分析。结果显示,西沙群岛目前有海龟上岸产卵的岛屿有 8 个,包括宣德群岛七连屿的北岛、中岛、南岛、西沙洲、北沙洲、中沙洲、南沙洲,和永乐群岛的晋卿岛,以北岛的蛋窝数最多。另外位于永乐群岛的甘泉岛,明确有海龟产卵,但由于天气原因未能登岛调查。西沙群岛绿海龟产卵季节很长,几乎覆盖全年,高峰期在 7 月和 8 月。西沙群岛蛋窝内平均蛋数为 87.2 ± 17.9 枚(58~131 枚, $n=21$),平均孵化率为 $78.6\% \pm 24.4\%$ (14.8~100%, $n=21$),平均繁殖力为 $77.5\% \pm 24.8\%$ (14.8~98.8%, $n=21$)。通过七连屿在 2016-2018 年记录的产卵窝数估算,七连屿的稚龟补充量为 8244.8~11623.8 只/年。在北岛共记录 4 只产卵的雌性海龟大小,背甲长为 91~103 cm,背甲宽为 68.5~94 cm。选取了晋卿岛的 3 个蛋穴和北岛的 2 个蛋穴放置温湿度记录仪,结果显示:孵化期在 8 月上旬至 10 月下旬的蛋穴温度高于 29 °C,该期间孵化的海龟中雌性比例会非常高。沙粒度分析结果显示:各蛋穴沙的主要粒径区段在 >2 mm、2~1 mm、1~0.5 mm 以及 0.5~0.25 mm 这 4 组内,说明绿海龟对产卵沙滩的沙粒度的接受度比较宽泛。海龟对产卵沙滩的选择,除了沙粒度外,还应结合该区域的人类活动频繁程度、岛礁上植被覆盖状况、地形状况、水文条件等方面进行分析,这也是今后需要进一步开展研究的领域。

关键词:海龟;卫星定位追踪;热点活动地区;产卵场;繁殖力

Abstract

Sea turtles are a kind of large marine reptiles. There are five species in China Seas, including: Loggerhead turtle (*Caretta caretta*), Green turtle (*Chelonia mydas*), Hawksbill (*Eretmochelys imbricate*), Olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) and Leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*). The five species are listed in Appendix I of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES), and are also the national protected animals of Class II in China. According to the IUCN Red List's evaluation on the endangered status, hawksbills are extremely critical endangered (CR) (2008), green turtles are endangered (EN) (2004), loggerhead, olive ridley and leatherback are vulnerable (VN), assessed in 2015, 2008 and 2013, respectively.

The first part of this study is on the migration pattern of sea turtles in China seas. In order to understand the migration characteristics and the distribution of habitats of sea turtles in China Seas, 17 rescued sea turtles including 9 green turtles, 6 loggerhead turtles and 2 olive ridley turtles, were tracked by satellite transmitters from June 2016 to May 2019. One was released from Beihai, Guangxi, 11 from Dongshan, Fujian, and 5 from Xiamen, Fujian. The total tracking days are 1504 days with a range of 5~291 days/turtle. The results showed that the migration of sea turtles covered a wide range of 6°21'~33°28' N and 105°36'~129°48' E, throughout the East China Sea and South China Sea. The tracked sea turtles also entered the waters of the South Korea, Japan, the Philippines and Vietnam. Most tracked sea turtles inhabit within the continental shelf of China Seas, with exception of two green turtles which crossed the South China Sea and entered the Philippines' coastal waters. The migration of green turtles was relatively concentrated in the waters to the south of The Taiwan Strait, and one loggerhead turtle and one olive ridley turtle migrated to the East China Sea through the Taiwan Strait. The results revealed that the Taiwan Strait is an important migration corridor for sea turtles in China.

The activity hotspots of sea turtles include the coastal waters of northern and southern Luzon Island of Philippines, the Beibu Bay, coastal waters of Leizhou

Peninsula-Yangjiang of Guangdong, surrounding waters of Dongsha Island, nearshore of Shantou-Shanwei, southern Taiwan Strait, coastal water of Putian of Fujian, Penghu Islands, coastal water of southwestern and northern Taiwan, the nearshore waters of the Yangtze River estuary, and the southern water of Jeju Island of the South Korea. The hotspots of green turtles trended to be closer to the nearshore, which was compatible with their foraging behavior by feeding in the nearshore seaweed beds and coral reefs. The hotspots of loggerhead turtles and Olive ridley turtles trended to be closer to the major fishing grounds in China, which was compatible with their feeding habits on invertebrates and small fishes.

The second part of this study is on the green turtle productivity and the environmental factors of its nesting grounds in the Xisha Islands, China. Sansha civil government has conducted a continue 3-year monitoring in 2016-2018 in Qilianyu, Xuande Islands (Amphitrite Group), Xisha Islands during, and recorded 152, 172 and 122 nests, respectively, which confirmed that it is the currently-known, largest green turtle nesting ground in China. In order to evaluate the green turtle reproductivity and the environmental factors of the nesting ground in Xisha Islands, 11 islands of Xisha Islands were monitored in August and September 2017, and August 2018, including North Island, Middle Island, South Island, West Shoal, North Shoal, Middle Shoal, South Shoal, Zhaoshu Island and Yongxing Island of Qilianyu in Xuande Islands (Amphitrite Group), Jinqin Island and Guangjin Island in Yongle Islands (Crescent Group). In this study, the locations of the nests were marked using GPS and the information on the nests were collected, the number of eggs per nests and their reproductivity were accessed, the body sizes of nesting female turtles were measured, the incubation temperature in nests were recorded and the sand particle sizes in the nesting grounds were analyzed. The results showed that 8 islands in Xisha Islands have active nesting beaches for green turtles, including North Island, Middle Island, South Island, West Shoal, North Shoal, Middle Shoal, South Shoal and Jinqin Island; North Island has the highest number of nests among all islands surveyed. Although Ganquan Island of Yongle Islands is known to have green turtle nesting ground, this study did

not conduct survey in the island due to the limitation of transportation. The nesting season of green turtles in Xisha Islands lasts long, almost cover the whole year, with the peak in July and August. The average number of eggs per nest was 87.2 ± 17.9 (range of 58~131), the average hatching rates was $78.6\% \pm 24.4\%$ (range of 14.8~100%), and the average productivity was $77.5\% \pm 24.8\%$ (range of 14.8~98.8%). Based on the recorded number of nests in 2016-2018, the annual numbers of recruited young turtles ranged from 8244.8 to 11623.8. The four nesting female turtles in North Island were about 91-103 cm carapace length and 68.5-94 cm carapace width. The recorded incubation temperature of 3 nests on Jinqing Island and 2 nests on North Island revealed that incubation temperature from early-August to late-October was above 29 °C, indicated that the strong female-bias ratio in the new hatchlings. The sand particle analyses showed that the sands in the nesting grounds have four size classes, >2 mm, 2~1 mm, 1~0.5 mm and 0.5~0.25 mm, suggested that green turtles have a high acceptability to sand particle sizes. It merits further study on the human activity around the nesting grounds, vegetation coverage of the islands, terrain condition and oceanography to understand the nest site selection for green turtles.

Key words: Sea turtle; satellite tracking; activity hotspot; nesting ground; productivity

目录

第一章 序言	1
第二章 中国海域海龟的迁移特征研究	3
2.1 绪论	3
2.1.1 海龟的生活史.....	3
2.1.2 海龟的迁移特征.....	4
2.1.2.1 绿海龟.....	4
2.1.2.2 蠓龟.....	6
2.1.2.3 太平洋丽龟.....	7
2.1.2.4 影响海龟迁移的因子.....	7
2.1.3 卫星定位追踪在海龟迁移研究上的应用.....	8
2.1.4 研究意义与目的.....	9
2.2 材料与方法	10
2.2.1 海龟来源.....	10
2.2.2 卫星定位仪以及安装材料与工具.....	10
2.2.2.1 卫星定位仪.....	10
2.2.2.2 专用材料.....	11
2.2.2.3 必备材料及工具.....	11
2.2.2.4 其他辅助物品及药品.....	11
2.2.3 卫星定位仪的准备.....	11
2.2.4 卫星定位仪的安装步骤.....	14
2.2.5 数据接收与处理.....	15
2.2.5.1 坐标点的筛选.....	16
2.2.5.2 路径图的制作.....	17
2.3 结果	18
2.3.1 标记海龟来源.....	18
2.3.2 标记海龟的迁移特点.....	18
2.3.2.1 序号1 绿海龟.....	24
2.3.2.2 序号2 绿海龟.....	25
2.3.2.3 序号3 绿海龟.....	26
2.3.2.4 序号4 绿海龟.....	27
2.3.2.5 序号5 绿海龟.....	28
2.3.2.6 序号6 绿海龟.....	29
2.3.2.7 序号7 绿海龟.....	30
2.3.2.8 序号8 绿海龟.....	31
2.3.2.9 序号9 绿海龟.....	32
2.3.2.10 序号10 蠓龟.....	33
2.3.2.11 序号11 蠓龟.....	34
2.3.2.12 序号12 蠓龟.....	35
2.3.2.13 序号13 蠓龟.....	36

2.3.2.14 序号 14 蠓龟.....	37
2.3.2.15 序号 15 蠓龟.....	38
2.3.2.16 序号 16 太平洋丽龟.....	39
2.3.2.17 序号 17 太平洋丽龟.....	40
2.4 讨论.....	41
2.4.1 绿海龟迁移特征.....	41
2.4.2 蠓龟迁移特征.....	44
2.4.3 太平洋丽龟迁移特征.....	46
2.4.4 海龟的总体迁移特征.....	47
2.4.5 海龟存活状况.....	48
2.4.6 渔业与海龟保护.....	51
第三章 中国绿海龟繁殖力与产卵场环境因子的研究.....	53
3.1 绪论.....	53
3.1.1 全球绿海龟产卵场的分布和现状.....	53
3.1.2 国内绿海龟产卵场的分布和现状.....	54
3.1.3 西沙群岛海龟产卵场.....	55
3.1.3.1 西沙群岛的背景.....	55
3.1.3.2 西沙群岛的海龟产卵场.....	55
3.1.4 海龟繁殖力及相关环境因子研究.....	56
3.1.5 研究意义与目的.....	57
3.2 材料与方法.....	58
3.2.1 实验材料.....	58
3.2.2 研究区域与时间.....	58
3.2.3 研究方法.....	60
3.2.3.1 巡岛方式.....	60
3.2.3.2 海龟蛋窝的确定.....	60
3.2.3.3 蛋窝的计数与定位.....	61
3.2.3.4 繁殖力的相关计算.....	62
3.2.3.5 产卵海龟的信息记录.....	62
3.2.3.6 蛋窝的温湿度记录.....	63
3.2.3.7 蛋穴沙粒度分析.....	63
3.3 结果.....	65
3.3.1 产卵季节.....	65
3.3.2 产卵场的蛋窝分布.....	66
3.3.2.1 蛋窝数量.....	66
3.3.2.2 蛋窝定位.....	67
3.3.3 各岛屿海龟繁殖力.....	79
3.3.4 西沙群岛海龟年繁殖力估算.....	80
3.3.5 产卵雌龟记录.....	81
3.3.6 蛋穴温湿度.....	81
3.3.7 沙粒度分析.....	83
3.4 讨论.....	85

第四章 总结与展望	90
4.1 成果总结.....	90
4.2 特色与创新点.....	91
4.3 不足与展望.....	91
参考文献	93
攻读硕士学位期间发表的论文、编写的报告以及参与的项目	103
致谢	105

Chapter 1 Preface	1
Chapter 2 Migration Pattern of Sea Turtles in China Seas	3
2.1 Introduction	3
2.1.1 Life history pattern of sea turtles	3
2.1.2 Migration characteristics of sea turtle	4
2.1.2.1 Green turtles	4
2.1.2.2 Loggerhead turtles	6
2.1.2.3 Olive ridley turtles	7
2.1.2.4 Influence factors of sea turtles migration	7
2.1.3 The application of satellite tracking on sea turtle migration study	8
2.1.4 Objective and significance of this study	9
2.2 Materials and Methods	10
2.2.1 Source of sea turtles	10
2.2.2 Satellite transmitters and deployment materials	10
2.2.2.1 Satellite transmitters	10
2.2.2.2 Special materials	11
2.2.2.3 Necessary materials and tools	11
2.2.2.4 Other materials and medicine	11
2.2.3 Transmitter preparing	11
2.2.4 Transmitter deployment	14
2.2.5 Data acceptance and processing	15
2.2.5.1 Location data screening	16
2.2.5.2 Tracking path graphing	17
2.3 Results	18
2.3.1 Information of tagged sea turtles	18
2.3.2 Migration of tagged sea turtles	18
2.3.2.1 No.1 Green turtle	24
2.3.2.2 No.2 Green turtle	25
2.3.2.3 No.3 Green turtle	26
2.3.2.4 No.4 Green turtle	27
2.3.2.5 No.5 Green turtle	28
2.3.2.6 No.6 Green turtle	29
2.3.2.7 No.7 Green turtle	30
2.3.2.8 No.8 Green turtle	31
2.3.2.9 No.9 Green turtle	32
2.3.2.10 No.10 Loggerhead turtle	33
2.3.2.11 No.11 Loggerhead turtle	34
2.3.2.12 No.12 Loggerhead turtle	35
2.3.2.13 No.13 Loggerhead turtle	36

2.3.2.14 No.14 Loggerhead turtle	37
2.3.2.15 No.15 Loggerhead turtle	38
2.3.2.16 No.16 Olive ridley turtle	39
2.3.2.17 No.17 Olive ridley turtle	40
2.4 Discussion	41
2.4.1 Migration of green turtles	41
2.4.2 Migration of loggerhead turtles	44
2.4.3 Migration of olive ridley turtles	46
2.4.4 Migration of all turtles	47
2.4.5 Survival of sea turtles	48
2.4.6 Fishery and sea turtles conservation	51
Chapter 3 Green Turtle Productivity and the Environmental Factors of the Nesting Ground in China	53
3.1 Introduction	53
3.1.1 Global green turtle nesting ground distribution and status	53
3.1.2 Domestic green turtle nesting ground distribution and status	54
3.1.3 Sea turtle nesting ground in Xisha Islands	55
3.1.3.1 Background of Xisha Islands	55
3.1.3.2 Nesting ground in Xisha Islands	55
3.1.4 Sea turtle productivity and environmental factors	56
3.1.5 Objective and significance of this study	57
3.2 Materials and Methods	58
3.2.1 Materials	58
3.2.2 Study region and period	58
3.2.3 Methods	60
3.2.3.1 Islands patrolling	60
3.2.3.2 Nest confirming	60
3.2.3.3 Nest calculation and orientation	61
3.2.3.4 Calculation methods of productivity	62
3.2.3.5 Recording of nesting female turtles	62
3.2.3.6 Incubation temperature and humidity	63
3.2.3.7 Nest sand partical analysis	63
3.3 Results	65
3.3.1 Nesting season	65
3.3.2 Nest distribution	66
3.3.2.1 Nest numbers	66
3.3.2.2 Nest orientation	67
3.3.3 Green turtles productivity of different islands	79
3.3.4 Estimation of annual productivity in Xisha Islands	80
3.3.5 Recording of nesting female turtles	81
3.3.6 Incubation temperature and humidity	81
3.3.7 Nest sand partical analysis	83

3.4 Discussion	85
第四章 Summary and Prospect	90
4.1 Summary of achievements	90
4.2 Features and innovation	91
4.3 Deficiency and prospect	91
Reference	93
Publication, Reports and Projects	103
Acknowledgements	105

第一章 序言

海龟是生活在海洋里的一类大型爬行动物。在世界范围内共有 2 科 6 属 7 种海龟，其中海龟科的 5 属 6 种包括：蠓龟 (*Caretta caretta*)，绿海龟 (*Chelonia mydas*)，玳瑁 (*Eretmochelys imbricata*)，太平洋丽龟 (*Lepidochelys olivacea*)，肯普氏丽龟 (*Lepidochelys kempii*) 和平背龟 (*Natator depressus*)；棱皮龟科的 1 属 1 种：棱皮龟 (*Dermochelys coriacea*)。此外，有争议的黑海龟 (*Chelonia agassizii*)，现今在主流观点上仍被视为绿海龟的一个亚种 (subspecies, *Chelonia mydas agassizii*) 或一个地理种群 (geographic population)，主要分布在东太平洋 (Karl and Bowen, 1999)。在我国海域范围 (包括渤海，黄海，东海和南海) 内存在的有 5 种，分别为蠓龟、绿海龟、玳瑁、太平洋丽龟和棱皮龟，其中只有绿海龟被证实在我国有产卵场分布。

由于面临人类的捕杀和渔业活动的威胁，全球海龟数量下降显著。为保护海龟种群数量和监管海龟国际贸易，1975 年至 1981 年期间，全球 7 种海龟陆续被收录在《濒危野生动植物种国际贸易公约》(简称：华盛顿公约；英文缩写：CITES) 附录 I 中，被严格限制国际商业贸易。另外自 1989 年起，我国的《野生动物保护法》便将境内所有 5 种海龟归为国家二级保护动物，并计划在最新的《野生动物保护法》中将其升级为国家一级保护动物 (http://www.npc.gov.cn/npc/xinwen/2018-11/05/content_2065670.htm)，体现了我国政府对海龟保护力度的加强和非法贸易监管的打击力度。

根据《世界自然保护联盟》红色名录 (IUCN Red List) 的濒危等级评估结果，玳瑁和肯普氏丽龟为“极危 (CR)”等级 (2008; 1996)，绿海龟为“濒危 (EN)” (2004)，蠓龟、太平洋丽龟和棱皮龟为“易危 (VU)” (2015; 2008; 2013)，平背龟为“数据不足 (DD)” (1996)。虽然肯普氏丽龟的种群因有效的保护而获得了种群数量的回升 (Coyne, 2000)，但由于其产卵场仅仅局限在墨西哥湾的 Rancho Nuevo 海岸，所以其濒危程度仍不容乐观，而其他种类的种群数量皆呈下降趋势。

本毕业论文针对国内分布的海龟种类，从以下两个方面开展海龟的保护生物

学研究，以期丰富我国对海龟的认知，为今后更加有效地保护海龟提供科学数据支撑：

1) 中国海域海龟迁移特征的研究(第二章)。涉及3种海龟种类，即绿海龟、蠓龟和太平洋丽龟。

2) 中国绿海龟的繁殖力以及产卵场环境因子的现状研究(第三章)。研究区域在中国目前已知的最大绿海龟产卵场——西沙群岛。

第二章 中国海域海龟的迁移特征研究

2.1 绪论

2.1.1 海龟的生活史

海龟是大洋洄游动物，有着非常复杂的洄游方式。其不同生命阶段的分布区域、洄游距离、洄游类型、洄游发生时间与持续时间以及洄游路径偏好等，都存在着种内和种间的差异。在全球 7 种海龟中，有 2 种海龟不会迁移至我国海域，一种是平背龟 (*N. depressus*)，是唯一不做大洋性洄游的种类，其活动区域局限在澳大利亚大陆架 (continental shelf) 的浅水区 (Salmon et al., 2010)；另外一种 是肯普氏丽龟 (*L. kempii*)，仅在墨西哥湾有产卵场，主要分布在墨西哥湾以及美国东海岸，最远被发现在欧洲海岸 (Carr, 1963; Manzella et al., 1988; Coyne, 2000)。除了平背龟，其余 6 种海龟在生活史及相应洄游方式上大部分符合一个相似的模式 (如图 2.1)：

(A) 小海龟在沙滩上孵化出来，便经历第一次长距离迁徙。人们对这个生命阶段小海龟的存活方式还未完全了解，这个过程中小海龟需要躲避捕食者。其中最广为人知的则是蠓龟稚龟被发现是躲在马尾藻团中寻求庇护及觅食的，此成长过程中一直随藻团漂流 (Witherington et al., 2012, Mansfield et al., 2014)。对于不同海龟躲避天敌的具体方式还有待进一步揭示，但从总体上看，这个迁徙的目的地都是向外海的 (Bolton and Balazs, 1995; Limpus and Musick, 1997) (见图 2.1A)；

(B) 幼龟成长到一定年龄后开始进行第二次长距离迁徙，逐渐从大洋迁徙回近海，并寻找合适的觅食场 (见图 2.1B)；

(C) 幼龟随着季节的变化改变觅食场，在此过程中海龟逐渐成长为性成熟的成龟。海龟性成熟的时间因种而异，且种内个体成熟的年龄和体长也差异非常大 (Limpus, 1990; Bolten, 2003) (见图 2.1C)；

(D) 海龟性成熟后开始进行生殖洄游向产卵场迁移，距离可达上千公里 (Plotkin, 2003)。雌性海龟和雄性海龟的实际交配地点比较多变，有的在大洋 (Hughes and Richard, 1974)，而大多数在产卵场附近的海域 (Godley et al., 2002)。

雄性海龟进行交配后便前往觅食场 (Godley et al., 2002; Plotkin, 2003) (见图 2.1D);

(E) 雌性成龟在交配后准备上岸产卵。当产卵完全完毕后, 雌龟前往觅食场, 直至几年后的下一个繁殖期再次返回原产卵地 (Carr, 1965; Luschi et al., 1998) (见图 2.1E);

(F) 雌性海龟一个产卵季是多次产卵的。每次登陆沙滩产卵后返回海中, 并在 1-2 周之内再次返回产卵, 如此往复数次, 该期间始终在产卵场附近海域活动 (Miller, 1997; Plotkin, 2003) (见图 2.1F)。

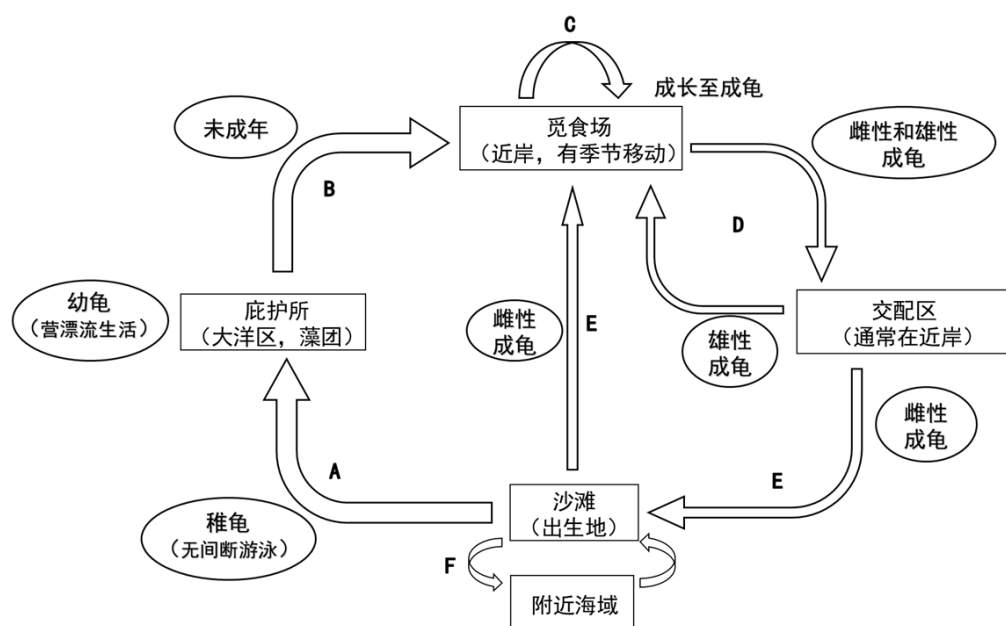


图 2.1 海龟生活史及洄游模式图

Figure 2.1 Life cycle of sea turtles and their migration pattern

2.1.2 海龟的迁移特征

2.1.2.1 绿海龟

绿海龟的稚龟营大洋性生活, 长至20~40 cm左右回归近岸海域觅食 (Bjorndal, 1997; Limpus and Musick, 1997)。许多成年或幼年绿海龟觅食场在近岸的海草床和珊瑚礁生境, 靠啃食海草或海藻为生 (Bjorndal, 1980, 1997; Mortimer, 1981)。由于海草床的分布比较区块状, 所以绿海龟的觅食场也是呈现块状分布 (Mortimer, 1981; López-Mendilaharsu et al., 2005)。但并非所有绿海

龟都是这种“近海素食性”，也有发现绿海龟会在大洋处觅食，以大型浮游动物为食 (Hatase et al., 2006)。但对于同一个绿海龟个体是否会有不同食性的觅食场，以及在觅食场之间的转换与迁移状况的研究非常有限。更多的研究是针对绿海龟在觅食场与产卵场之间的迁移特征。

觅食场与产卵场的距离有可能很近也能很远。绿海龟成年后可能因为产卵场与觅食场相距甚远，而进行长距离的、跨大洋的生殖迁移 (Carr, 1965)。绿海龟是比较典型的有着保守产卵地的海龟，能在长距离跋涉后精准的定位其出生地 (Luschi et al., 1998)，且有证据表明雌性绿海龟在产卵完成后，可非常有目的性的、不间断的回到近岸觅食场 (Papi et al., 1995; Luschi et al., 1998)。雄性海龟在交配后，虽大多回到其觅食场，但仍有一些被证实会留在产卵场附近海域栖息 (Plotkin, 2003)。

绿海龟是我国海域内数量最多的海龟物种 (牟剑锋 等, 1984)，且拥有许多产卵场分布。目前南海西沙群岛有中国最大的绿海龟产卵场 (Jia et al., 2019, in press)，同时香港南丫岛、广东惠东 (Chan et al., 2003; 2007; Ng, 2015)、南海东沙岛和太平岛 (Cheng, 1995, 1996, 2007) 以及几个台湾离岸岛屿 (如兰屿、小琉球、澎湖列岛) (Chen and Cheng, 1995; Cheng et al., 2008, 2009) 也具有小规模产卵点。通过长期监测，香港南丫岛和广东惠东的绿海龟产卵场每年的蛋窝数已下降至个位数甚至有的年份已没有海龟上岸产卵，呈现功能性消失。在我国周边国家，如东南亚各国 (菲律宾，马来西亚等) (Moritz, 2002) 和日本南部 (Nishizawa, 2011) 等都有绿海龟的产卵场。

基于分子生物学的研究，在中国南部海域觅食的绿海龟群体中，很大程度上来自在台湾澎湖列岛望安岛 (Wan-an Island)、日本琉球群岛 (Ryukyu Islands) 和小笠原群岛 (Ogasawara Islands)、太平洋岛国的密克罗尼西亚群岛 (Micronesia Islands)、马来西亚Paka和Pulau Redang，以及菲律宾Turtle Island 等地繁殖的绿海龟 (Ng, 2015)。也有研究表明，我国南海绿海龟与印度洋和太平洋的中东与西南部的种群有相近的亲缘关系 (郭昱嵩 等, 2009)。

2.1.2.2 蠍龟

蠍龟在觅食场的选择和觅食场的转换上非常多变。蠍龟稚龟营大洋性生活，被证实起初是靠躲避在马尾藻团寻求庇护（Witherington et al., 2012, Mansfield et al., 2014），在大洋区度过7-11.5年成长至背甲长46-64 cm左右再返回近海摄食并成长至性成熟（Bjorndal et al., 2000, 2001），并主要在近海水域觅食生活（Dodd, 1988）。

未成年蠍龟的迁移范围非常大。在西太平洋海域的未成年蠍龟（背甲长：25.6-64.8 cm）从日本出发，随着黑潮和北太平洋海流，迁移向太平洋中部的热点栖息地，远可达东太平洋海域（Polovina et al., 2006; Kobayashi et al., 2008）。北太平洋种群——日本种群和南太平洋种群——澳大利亚种群都可迁移至东太平洋海域，在墨西哥的下加利福尼亚半岛（Baja California）觅食（Bowen et al., 1995）。

蠍龟主要是以海底无脊椎动物为食。从主要胃含物上看，有一定的季节变化（Bjorndal, 1997）。但关于蠍龟在近海觅食场是否有变化以及变化方式是不确定的。有研究表明蠍龟在近海觅食场捕捉到的未成年蠍龟也会向大洋处迁移，并在大洋处停留觅食（McClellan and Read, 2007; Kobayashi et al., 2011）。

蠍龟是典型的产卵地保守型海龟，从觅食场到产卵场的生殖迁移距离可达上千公里（Papi et al., 1997）。雌性海龟当年产卵季结束后会立即离开产卵场前往其近岸或大洋的觅食场（Plotkin and Spotila, 2002; Plotkin, 2003）。对于雄性海龟，多数呈现长距离的生殖迁移，而也有观察到部分雄性海龟会在交配前后都逗留在交配地附近（Henwood, 1987）。

蠍龟在迁移上基本不跨越赤道的，所以北太平洋蠍龟群体均源于日本产卵场（Hatase et al., 2002）。但如上所述，在下加利福尼亚半岛这种位于南北太平洋交接处的近海觅食场，是会存在一定比例的南太平洋种群，从基因检测结果上看仅为5%（Bowen et al., 1995）。

2.1.2.3 太平洋丽龟

太平洋丽龟是分布非常广，更偏大洋性的，且全球数量最多的海龟。太平洋丽龟的大型产卵场分布在印度东北部的奥里萨邦（Orissa）海岸和东太平洋的墨西哥及哥斯达黎加附近海岸。在繁殖季节会有上万只丽龟集体上岸产卵，这种现象被称为“arribada”（Fonseca et al., 2009; Shanker et al., 2004）。西太平洋至今没有太平洋丽龟产卵场的报道。

与其他海龟种类不同的是，太平洋丽龟会在大洋度过其大部分的非繁殖期阶段，觅食场更偏向大洋（Plotkin, 1994）。其主要以无脊椎动物和鱼类为食（Bjørndal, 1997）。在觅食迁移上是复杂的、缺少规律的，具有对觅食场没有忠诚度的“游牧性”（nomadic behaviour）特点，受气候影响很小（Plotkin, 1994, 2010）。

太平洋丽龟对产卵场的忠诚度在种内是有很大差别的，不集体产卵的种群对产卵场忠诚度比较低，而集体产卵的种群的忠诚度比较高（Kalb, 1999）。部分雄龟并不会进行长距离的生殖迁移，而是在大洋区完成交配，雌性则继续向产卵场迁移，完成产卵后返回大洋区觅食场（Plotkin, 1994; Plotkin et al., 1994）。

我国对太平洋丽龟的研究甚少。我国范围内太平洋丽龟所属种群（如印度洋种群或东太平洋种群）仍不明朗。

2.1.2.4 影响海龟迁移的因子

研究人员在揭示主导海龟迁移节律的因素以及海龟在迁移时确定方向的机制上做了多年的研究和推测。从小海龟对大海的辨别，寻找庇护所，到之后从大洋迁移回近海，以及在经历多年的长途迁移仍对出生地精准定位的现象来看，认为海龟确实有着很强的导航系统，对地磁场辨别被认为是其能精准定位的一大因素（Papi et al., 2000）。其他环境因素包括光照（Lohmann et al., 1997）、海水温度（Plotkin, 1994; Limpus and Musick, 1997）、风向和海流（Papi and Luschi, 1996; Luschi et al., 1998; Luschi et al., 2001），以及对合适觅食场的主动选择等（Bjørndal, 1997; Kobayashi, 2008）。另外，自身激素也是影响生活史及相关迁移发生的重要因素（Owens, 1997）。其他间接和可能存在的未揭示的

机制都决定着海龟的迁移方式。

另外海龟并非群居动物，即便是同种，个体间的差异也是很大的，洄游路径不尽相同，也因此造成海龟的分布很广且复杂多变，遍布热带和亚热带的近海和大洋。同种群的海龟可能会分散在不同的觅食场，同时不同种群的海龟也可能选择同一处觅食场。

而且随着人类活动的加剧，捕捞业愈加发达，海龟成为一大兼捕生物，加之海龟是非法贸易市场、放生和海洋馆展示的热门生物，可能会因人为因素在一定程度上改变海龟种群的分布。但是由于其对出生地的高度保守性，不同地域出生的海龟会遵循其种群原有的产卵场和交配区，所以在自然状况下不同的种群是有很高分离度的 (Bowen and Karl, 1997)。

2.1.3 卫星定位追踪在海龟迁移研究上的应用

卫星定位追踪是当今研究海龟等大型海洋生物迁移路线和迁移特点的最有效方法之一。随着科学技术的发展，安装在海龟身上的定位追踪仪性能愈加稳定，定位更加准确，跟踪时间也更加长。海龟的寿命长，生长发育缓慢，其任何一个生活史阶段都有数年至十几年的跨度 (见图 2.1)。由于跟踪装置的电量限制 (极限时间为 2-3 年)，因此至今无法实现完整跟踪海龟某一生生活史阶段的研究目的。目前需要大量的卫星追踪个体进行片段式的追踪，进行综合分析才能重现海龟较为完整的迁移状况。

尽管海龟有着复杂的迁移方式，但是研究表明，海龟确实有特定的热门栖息地点，尤其是海龟产卵后会非常有目的性的向其觅食场迁移上千公里 (Papi et al., 1995, 1997)。通过对尽可能多的海龟进行定位追踪，根据其迁移路径、迁移速度和在某个地区的停留时间，以及海龟是否会在长距离迁移之后仍选择回到特定的地点等数据 (Luschi et al., 1996; Papi et al., 1995; 1997)，可以分析得出海龟的热点栖息场所 (如觅食场、产卵场等) 分布、主要的迁移通路乃至在不同国家海域的活动情况。

从 20 世纪 90 年代开始至今，我国至少有 100 余只的海龟进行了卫星定位追踪研究，涉及区域包括广东、香港和台湾。34 只误捕和搁浅海龟被标记，其中包

括香港 20 只、广东惠州 4 只、台湾澎湖列岛 10 只，并对其迁移路径与逗留时间进行分析，描述了其栖息和迁移的热点地区，涉及的种类以绿海龟占绝大多数，蠓龟 2 只，太平洋丽龟 1 只，玳瑁 4 只 (Ng, 2015; Ng et al., 2018)。7 只误捕海龟包括 4 只绿海龟和 3 只蠓龟，于广东珠江近岸释放 (Wang and Li, 2008)。32 只蠓龟被台湾东海岸近岸的陷阱网误捕后，被安装定位仪后释放，因此总结了我国蠓龟的迁移特点 (Kobayashi, 2011)。另有对在广东惠东、香港南丫岛、台湾澎湖列岛、小琉球和南海太平岛等绿海龟产卵场的产卵雌性绿海龟，进行繁殖后的卫星定位追踪研究，描述了其迁移特征和觅食场分布 (Chan et al., 2003, 2007; Cheng, 2000, 2007; Cheng and Wang, 2009; Ng, 2015; Ng et al., 2014, 2018; Song et al., 2002; 王文质 等, 2002; 夏中荣 等, 2012; 叶明彬 等, 2015)。

2.1.4 研究意义与目的

人类的渔业活动，包括拖网、定置网和延绳钓等捕捞网具，一直是导致海龟种群数量持续下降的最大原因，尤其是当海龟迁徙通道和选择的觅食场与渔业作业区重叠时，误捕情况更加频繁 (Hillestad, 1995; Lewison et al., 2004)。了解海龟的迁移通路和对栖息地的选择，可以为实施野生动物保护相关政策提供科学依据，对有针对性的实施保护政策是非常有必要的。

虽然以往的研究对我国海域内海龟的迁移特征做出了很大的数据贡献，但在追踪数量上仍不够多、涉及的海域仍不够广。福建海域包括台湾海峡有著名的闽南-台湾浅滩渔场、闽中渔场、闽东渔场，是我国主要的渔业作业区域，频繁的渔业活动造成不少海龟误捕，对该区域的海龟生存一直产生着未被揭示的巨大威胁。而且至今为止，我国对于福建海域误捕海龟的定位追踪仍然接近空白。

本研究专注于追踪渔业误捕的海龟，误捕区域大部分来自东经 119° 以西的台湾海峡大陆渔船捕捞区，也有 1 只为广西提供的误捕后经救助恢复健康的绿海龟。通过安装卫星定位仪，追踪放归的海龟，了解海龟的迁移路径、迁移特点和栖息地的选择，了解海龟在渔业区海域和其他海域的活动情况，丰富我国在海龟定位追踪研究上的数据和扩大研究区域，为今后国家更有针对性的保护政策提供科学依据。

2.2 材料与方法

2.2.1 海龟来源

本研究标记的海龟来源有二：

1) 渔民误捕的海龟。上岸后短暂安置在鱼排的网箱中，并及时联系当地渔政。我方收到当地渔政的通知赶赴当地进行标记。在经过简单的检查后对确定身体机能正常适合放生的海龟安装卫星定位仪。该龟源滞留在人为饲养环境下的时间不超过 1 周。

2) 救护后恢复健康的海龟。主要是市民或渔民将发现的受伤海龟交付给当地相关机构进行医治，恢复健康后安排放归。该龟源滞留在人为环境中的时间较长且时间不等（数月或超过一年），康复过程中进行人工投喂。

2.2.2 卫星定位仪以及安装材料与工具

2.2.2.1 卫星定位仪

本研究的卫星定位仪采购自美国和新西兰，具有 4 种型号（表 2.1）。

表 2.1 卫星定位仪型号和产家

Table 2.1 Models of satellite tags and their producers

型号	厂家
SPOT-287C	美国 Wildlife Computers
SPOT-352B	
K2G-576A	美国 Telonics
TAM-2640	新西兰 Sirtrack

2.2.2.2 专用材料

安装卫星定位仪所需的专用材料，由卫星定位仪生产厂家提供或自行购买（表 2.2）。

表 2.2 专用材料信息

Table 2.2 Information of special materials

材料	厂家
环氧树脂 AB 胶——5 Minute Epoxy	美国 Devcon 公司/美国 3M 公司
AB 胶配套胶枪	美国 Devcon 公司
环氧树脂补土——Repair Epoxy	美国 Loctite 公司
尼龙布	Wildlife Computers 公司原配
定制动物钢签和打签钳	美国 National Band and Tag Co.

2.2.2.3 必备材料及工具

无水乙醇、淡水、砂纸（P150 和 P36）、毛巾、木片（1×10 cm）、一次性刷子（刷头 1 cm 宽即可）、一次性硬质塑料杯（15 ml）、一次性手套、皮卷尺。

2.2.2.4 其他辅助物品及药品

海棉垫（缓冲物、毛毯或泡沫垫等也可）、能容纳一只海龟的箱子/水盆、伤口处理药品（红霉素软膏、云南白药粉末、碘伏棉球、无菌棉球棉棒等）。

2.2.3 卫星定位仪的准备

在安装定位仪前需要确定定位仪已经被成功设置（表 2.3）。本研究采用的三种定位仪中，Telonics 和 Sirtrack 是根据用户需求在厂里提前设置完毕的，无需后续的操作；而 Wildlife Computers 是可以在厂家设置基础上，通过软件对定位

仪的“工作周期”、“温度传感器”、“开关方式”、“模式切换”等进行符合个人使用习惯的功能设置。

定位仪的选择需遵循自重不超过海龟体质量的 5% (Watson and Granger, 1998), 才能保证海龟的日常活动不会受额外增加的重量影响。本研究遵守更严格的规定, 定位仪自重均不超过海龟体质量的 1%。

表 2.3 定位仪详细信息

Table2.3 Details of satellite transmitters

定位仪型号	重量 (g)	规格 (长×宽×高) (mm)	电池标 准寿命 (天)	工作周期	启动方式	传感器数据
SPOT-287C	72	70×41× 23	550	每天	设置为海水浸没后自 动启动	温度 (不同温度区间 内的停留时间比 例)
SPOT-352B	129	72× 56×22	920	每天		
K2G-576A	360	138 ×78× 50	2163	每天	磁铁手动启动，将磁 铁置于开关感应处 2 秒后抬起。	温度 (实测温度 值，°C)
TAM-2640	90	68× 33×25	600	6 小时/每 24-48 小时	移除定位仪上固定的 磁铁后自动启动。	无

2.2.4 卫星定位仪的安装步骤

定位仪的安装是参考 Balazs et al. (1996) 描述的方法。在安装定位仪前需考虑海龟的安放问题：一般选择可完全容纳一只海龟的容器或临时用遮挡物搭建一片仅能容纳一只海龟的区域；海龟身体下垫有海绵垫等柔软缓冲物；为防止海龟受到惊吓或应激反应，可用湿毛巾遮住双眼，露出嘴巴和鼻孔；选择庇荫处作业，海龟四肢可用湿毛巾覆盖，不可让海龟被太阳暴晒。具体步骤如下：

(1) 先用砂纸打磨海龟的背甲，去除表面的污垢和即将脱落的角质。一般选择较粗的沙纸（如砂纸粒度为 P36）更能快速的除去表面污垢，然后再选用细砂纸（如砂纸粒度为 P150）打磨光滑。打磨期间可用海水或淡水冲洗；

(2) 打磨完毕后，需用淡水最后清洗干净背部碎屑，之后在即将安装定位仪的区域（背甲上第二块椎盾以及四周肋盾）用无水乙醇擦洗，待无水乙醇自然挥发后即可开始定位仪的安装；

(3) 在使用定位仪前请注意不同定位仪的使用要求，如 Wildlife Computers 需将数据口用油性硅胶和胶塞封住，将底部保护膜移除等；以及不同定位仪有不同的启动方式（表 2.3）。另外对于所有定位仪都需要注意的，在后面使用胶水的步骤中，必须避免胶水覆盖定位仪表面圆形金属质的传感器，否则将无法启动定位仪或无法读取水温等数据，因此我们选择剪下合适传感器大小的纸胶带，将传感器贴住，待所有安装步骤完成后撕下；

(4) 在背甲上第二块椎盾和四周涂上混合完全的环氧树脂 AB 胶，并平铺上剪裁好的尼龙布（尼龙布大小约比定位仪底座略大），用刷子继续涂抹 AB 胶直至尼龙布完全浸润在胶水中。然后安放好定位仪。该步骤涂抹 AB 胶时不可一次性涂抹过厚，因为 AB 胶混合后会发热逐渐升至 70 °C，可烫伤海龟。少量涂抹后用一次性刷子或木片按压尼龙布至充分浸润且做好散热可减少海龟不适（图 2.2A & B）；

(5) 取适量的环氧树脂补土，捏合后，将定位仪底座与龟背之间的缝隙填平，使得定位仪能平稳放置在有弧度的龟背上，随后继续取适量补土将定位仪四周围住，塑形出合适的坡度，使定位仪和补土的整体呈流线型（该步骤补土应当适量，过多的补土可能给海龟增加负重，甚至超出其负重限制）（图 2.2C & D）；

(6) 待环氧树脂补土完全固化后，用剪裁好的尼龙布条和环氧树脂 AB 胶对定位仪进行加固，将尼龙布完全浸润在 AB 胶中。加固层数和方式根据不同的定位仪形状有不同的做法。本研究采取的方法是横竖两向加固两层尼龙布，定位仪四周加固一层尼龙布（图 2.2E & F）；

(7) 将覆盖在传感器上的纸胶带撕下；

(8) 让海龟背部保持干燥，至胶水固化完全，才可入水。本研究一般让海龟保持 3-4 小时的干燥时间，期间让海龟四肢浸在海水中或在将湿毛巾盖住海龟四肢和脖子来减少海龟的脱水。

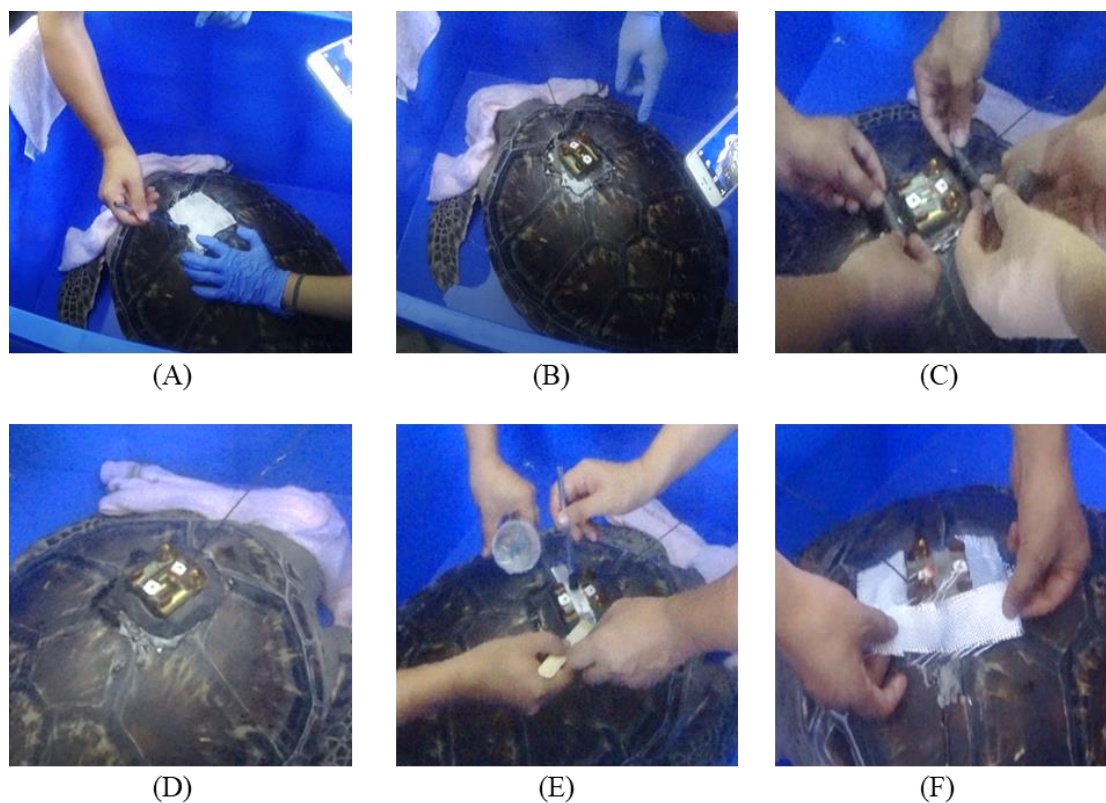


图 2.2 卫星定位仪安装示意图

Figure 2.2 Process of the satellite transmitter deployment

2.2.5 数据接收与处理

定位仪在海龟露出水面呼吸时发送传感器数据，定位仪发回的数据由 Argos 获得。定期或不定期从 ArgosWeb 下载海龟位置数据（<https://argos->

system.clsamerica.com/argos-cwi2/login.html)。

2.2.5.1 坐标点的筛选

海龟的位置数据会被 Argos 按照一定误差计算方法得出数据的误差范围，并按照范围分为 7 个等级（表 2.4）。

表 2.4 Argos 数据等级

Table 2.4 Class of Argos Location

等级	误差范围
3	<250 m
2	250~500 m
1	500~1500 m
0	>1500 m
A	无法估算
B	无法估算
Z	无效点

坐标点筛选的具体步骤如下：

收到的每个坐标点都有对应的误差等级。根据择优原则，依次优先选择 3-0 等级的数据；由于不同定位仪成功收取的数据量的有所不同，多达每天 20 个坐标点，少至几个月仅有数个坐标点，所以在数据取舍上也有不同。数据量大的定位仪，一般会按照每 24 小时左右取一个等级较高的坐标点制图，但是针对数据量非常少的定位仪，我们会尽量保留除无效点 Z 以外的坐标点，同时在偶尔出现的数据密集的时间段择优选择等级高的数据点；在初步筛选过后发现，由于数据误差，海龟游至近海时其坐标点可能会显示在陆地上。该种情况下会舍掉该点，选择相近时间段的误差等级相同或尽可能相近的，位于海水中的替代点。但是在近海处尤其是群岛处活动的海龟，该种情况则比较难以避免。另外因数据量有限而无法选取更合适的点时，会出现相邻两点之间横跨了陆地的现象，原则上只能

选择将其保留；对于海龟长期停留在一个有限区域内的情况，会视数据量的大小和活动范围相应减少取点频率，并标注好省略部分的时间跨度。

2.2.5.2 路径图的制作

将筛选好的坐标点数据，用 ODV（Ocean Data View）制成路径图。

2.3 结果

2.3.1 标记海龟来源

在 2016-2019 年期间, 本研究共标记了 17 只海龟 (表 2.5)。有 11 只属于渔民误捕后立即安排释放的健康海龟, 来自台湾海峡和粤东海域, 种类包括绿海龟、蠓龟和太平洋丽龟。另外有 6 只属于由于搁浅或误捕等原因而被送至相关机构, 在室内经救护和喂养后恢复健康的海龟, 均为绿海龟, 其来源分别为北海湾误捕 1 只和台湾海峡误捕 3 只, 另外来自天津海洋馆的 2 只的误捕地点不明。

2.3.2 标记海龟的迁移特点

17 只海龟放归的时间和地点不同, 信号消失的地点不同, 追踪的时间也不等 (表 2.6)。

表 2.5 17 只海龟的具体信息

Table 2.5 Information of the 17 released sea turtles

序号	种类	钢牌号	定位仪编号	定位仪型号	曲线背甲 长 (cm)	曲线背甲 宽 (cm)	体质量 (kg)	来源	人工喂养时间
1	绿海龟	098	162710	SPOT-287C	44	43	13.55	救护：台湾海峡	>1 年
2		097	162715	SPOT-352B	56.5	50.5	23.28	救护：台湾海峡	半年
3		099	162716	SPOT-352B	53.5	48.5	19.22	救护：台湾海峡	半年
4		100	162714	SPOT-352B	78	76	53.6	误捕：台湾海峡	<1 周
5		045/046	153330	K2G-576A	87	78	70.5	误捕：台湾海峡	<1 周
6		079	162711	SPOT-287C	66	57.5	-	救护：天津海洋馆	>1 年
7		002	162712	SPOT-287C	61.5	54	-	救护：天津海洋馆	>1 年
8		024/025	153329	K2G-576A	89	79.5	-	误捕：台湾海峡	<1 周
9		009	162723	SPOT-352B	81	75.5	63.1	救护：北海北部湾	1 个月
10	蠓龟	096	153333	K2G-576A	82	78	76	误捕：台湾海峡	<1 周
11		052	162713	SPOT-352B	75	71.6	55	误捕：汕头海域	<1 周
12		026	153332	K2G-576A	76	74.5	49	误捕：台湾海峡	<1 周
13		059/033	153331	K2G-576A	82	77.5	-	误捕：台湾海峡	<1 周

续表 2.5 17 只海龟的具体信息

Table 2.5 Information of the 17 released sea turtles

序号	种类	钢牌号	定位仪编号	定位仪型号	曲线背甲 长 (cm)	曲线背甲 宽 (cm)	体质量 (kg)	来源	人工喂养时 间
14	蠓龟	047/048	162721	SPOT-352B	74	71	50.5	误捕：台湾海峡	<1 周
15		022/023	80066	TAM-2640	78.2	75.5	-	误捕：台湾海峡	<1 周
16	太平洋丽龟	095	57151	TAM-2640	82	78	76	误捕：台湾海峡	<1 周
17		060/051	162709	SPOT-287C	61.7	57.7	-	误捕：台湾海峡	<1 周

--: 限于当地条件，无体重数据。

表 2.6 17 只海龟追踪情况

Table 2.6 Tracking information of the 17 released sea turtles

* 序号	种类	定位仪编号	释放点	释放点坐标	消失点	消失点坐标	释放时间	消失时间	追踪 天数
1	绿海龟	162710	福建厦门海域	N 24.4244 E 118.1119	台湾金门岛 (陆地)	N 24.4289 E 118.4064	2016.06.23	2016.06.27	5
2		162715			台湾台中市近海	N 24.2725 E 120.3997	2016.06.23	2016.08.15	55
3		162716			菲律宾北部 Cagayan 省近海	N 18.4850 E 121.4417	2016.06.23	2016.08.08	47
4		162714	福建东山海域	N 23.7308 E 117.5342	广东南部近海	N 22.4683 E 118.3989	2016.11.15	2017.01.27	53
5		153330			台湾北部近海	N 25.23307 E 121.44444	2018.01.03	2018.06.02	149
6		162711	福建厦门海域	N 24.4244 E 118.1119	福建莆田市 (陆地)	N 25.3218 E 119.5332	2018.10.30	2018.12.12	43

续表 2.6 17 只海龟追踪情况

Table 2.6 Tracking information of the 17 released sea turtles

* 序号	种类	定位仪编号	释放点	释放点坐标	消失点	消失点坐标	释放时间	消失时间	追踪 天数
7	绿海龟	162712	福建厦门海域	N 24.4244 E 118.1119	菲律宾 Sorsogon 近海	N 12.8681 E 124.3343	2018.10.30	2019.01.23	85
8		153329	福建东山海域	N 23.7308 E 117.5342	东沙岛环礁海域	N 20.79223 E 116.82512	2018.12.24	2019.04.03	99
9		162723	广西北海海域	N 21.3911 E 109.6175	截止 2019.05.04 位于 福建泉州海域	N 24.5936 E 119.2300	2019.01.08	截止 2019.05.03 仍在接收	115
10	蠓龟	153333	福建东山海域	N 23.7308 E 117.5342	日本吐噶喇群岛的中 之岛近岸海域	N 29.8862 E 129.78665	2017.04.07	2018.01.21	291
11		162713			福建漳州市六鳌镇近 海	N 23.9151 E 117.9232	2017.09.06	2017.09.12	7
12		153332			福建漳州市古雷近海	N 23.79297 E 117.65132	2017.09.26	2017.09.30	5

续表 2.6 17 只海龟追踪情况

Table 2.6 Tracking information of the 17 released sea turtles

* 序号	种类	定位仪编号	释放点	释放点坐标	消失点	消失点坐标	释放时间	消失时间	追踪 天数
13	蠓龟	153331	福建东山海域	N 23.7308 E 117.5342	广州汕头南部 120 公 里海域	N 23.1513 E 118.04983	2017.12.03	2018.08.02	242
14		162721			海南儋州市近海	N 20.1864 E 109.0665	2018.01.03	2018.04.17	103
15		80066			福建东山县近海	N 23.7187 E 117.5112	2018.12.24	2019.01.04	12
16	太平洋 丽龟	57151			浙江台州近海	N 28.913 E 123.173	2017.04.07	2017.09.21	170
17	162709	广东深圳南部 130 公 里海域			N 21.0242 E 114.4425	2017.12.03	2017.12.26	23	

*注：序号对应表 2.5

2.3.2.1 序号 1 绿海龟

该绿海龟（定位仪编号：162710），是渔民误捕受伤后，在室内救治 1 年后放生的未成年龟。从 2016 年 6 月 23 日从厦门海域释放后 5 日便搁浅在金门岛沙滩上，已死亡。后经台湾程一骏教授团队解剖后发现体内脂肪量极低，胃内有鱼线和胶皮管。从体脂率上分析，怀疑已经有数月未进食。因此本只海龟死亡原因是其在数月甚至更久之前吞食异物导致海龟身体状况不佳。追踪天数 5 天（图 2.3）。

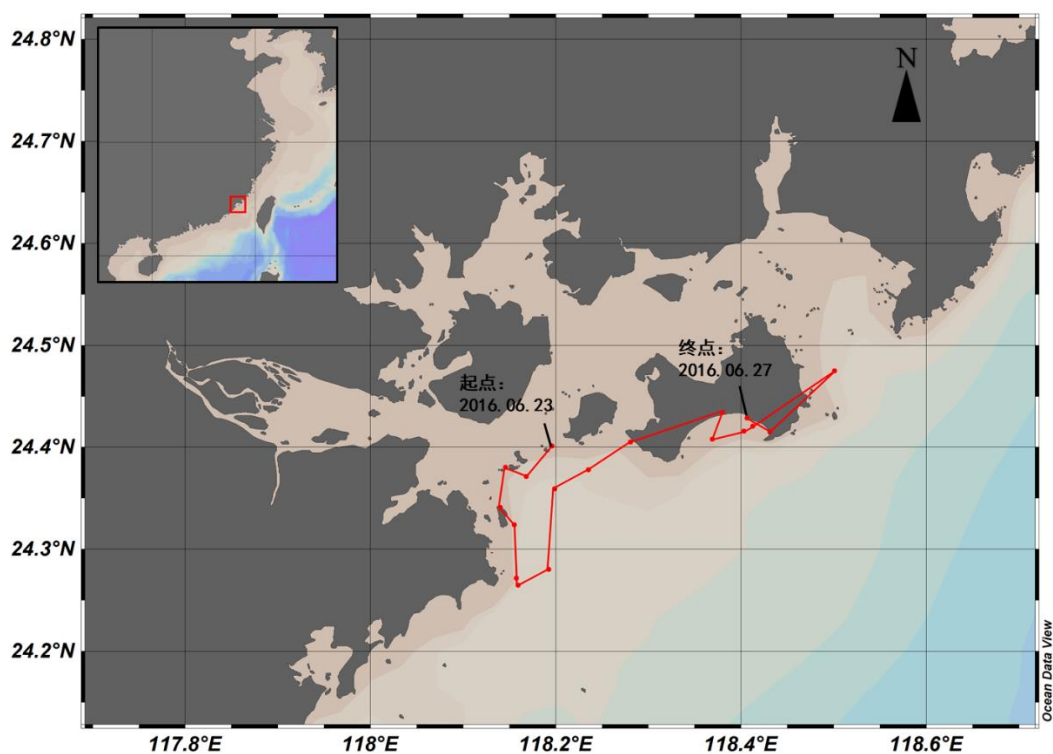


图 2.3 序号 1 绿海龟（162710）路径图

Figure 2.3 No.1 Green turtle (162710) tracking path

2.3.2.2 序号 2 绿海龟

该绿海龟（定位仪编号：162715），为渔民误捕受伤后，在室内救治半年后释放的海龟。自 2016 年 6 月 23 日从厦门海域释放后直接游向莆田近岸海域，停留约 9 天后，7 月初开始横跨台湾海峡。随后以近 35 km/天的速度于 7 月 7 日左右到达台湾近海后趋向澎湖列岛方向，在澎湖列岛近海停留 1 天左右便离开。7 月 10 日开始沿台湾沿岸南下游向小琉球，以约 20km/天的速度 7 月 15 日到达小琉球附近，并停留 2 天左右。7 月 17 日开始向大陆方向迁移，途径澎湖列岛但未做停留，以 35km/天的速度于 7 月 26 日到达福建东山近岸。随后在汕头近海游走近 10 天，8 月初开始从汕头北上，途径，漳州、厦门，以 37 km/天的速度于 8 月 11 日到达泉州近岸。随后以 42 km/天的速度再次横跨海峡直奔台湾，最终于 8 月 15 日刚刚抵达台中近岸海域后消失。消失时数据未显示其脱离水环境。消失原因不可知，追踪天数为 55 天（图 2.4）。

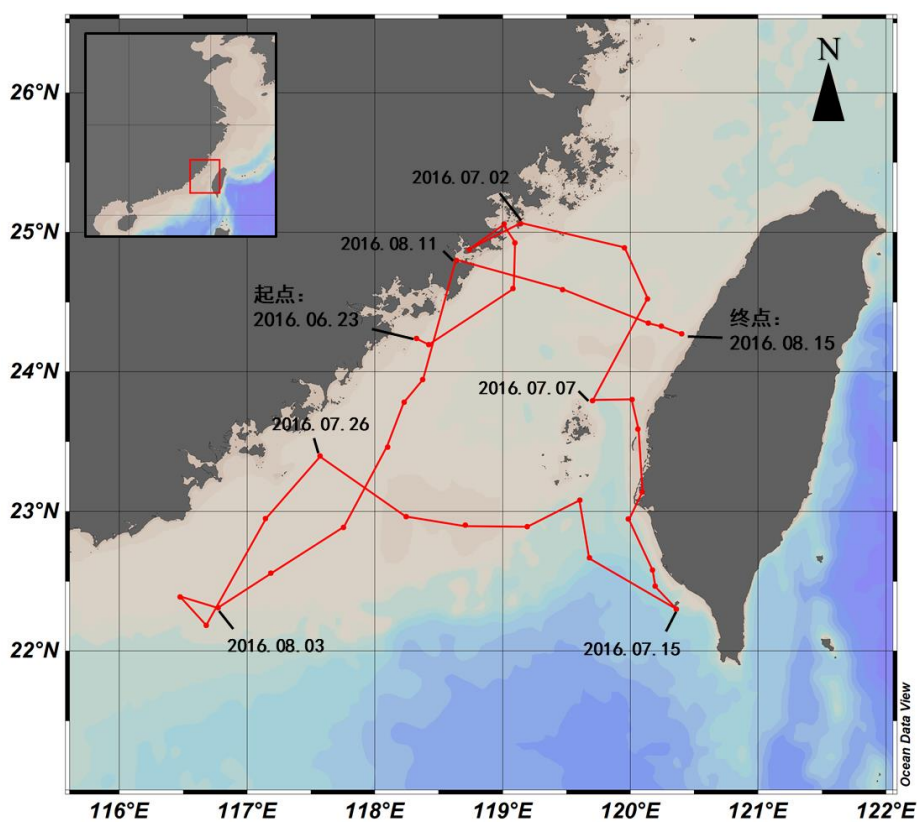


图 2.4 序号 2 绿海龟（162715）路径图

Figure 2.4 No.2 Green turtle (162715) tracking path

2.3.2.3 序号 3 绿海龟

该绿海龟（定位仪编号：162716），为渔民误捕受伤后，在室内救治半年后释放的海龟。自 2016 年 6 月 23 日厦门海域释放后，于 7 月 2 日到达台湾南部，全程速度约 37 km/天，在澎湖列岛南部海域稍有逗留。7 月初，海龟绕至台湾东部，路过兰屿岛，以 44 km/天的速度向台湾东部海域前进。7 月中旬开始以 30 km/天的速度向菲律宾方向迁移，7 月末到达菲律宾近海海域。在最后的 18 天内在中国南海北部海域游走，游走速度约 50 km/天，并于 8 月 8 日消失在菲律宾吕宋岛（Luzon Island）近岸。消失前位置有定位至陆地，消失原因可能是被捕获。涉及中国和菲律宾海域，追踪天数为 47 天（图 2.5）。

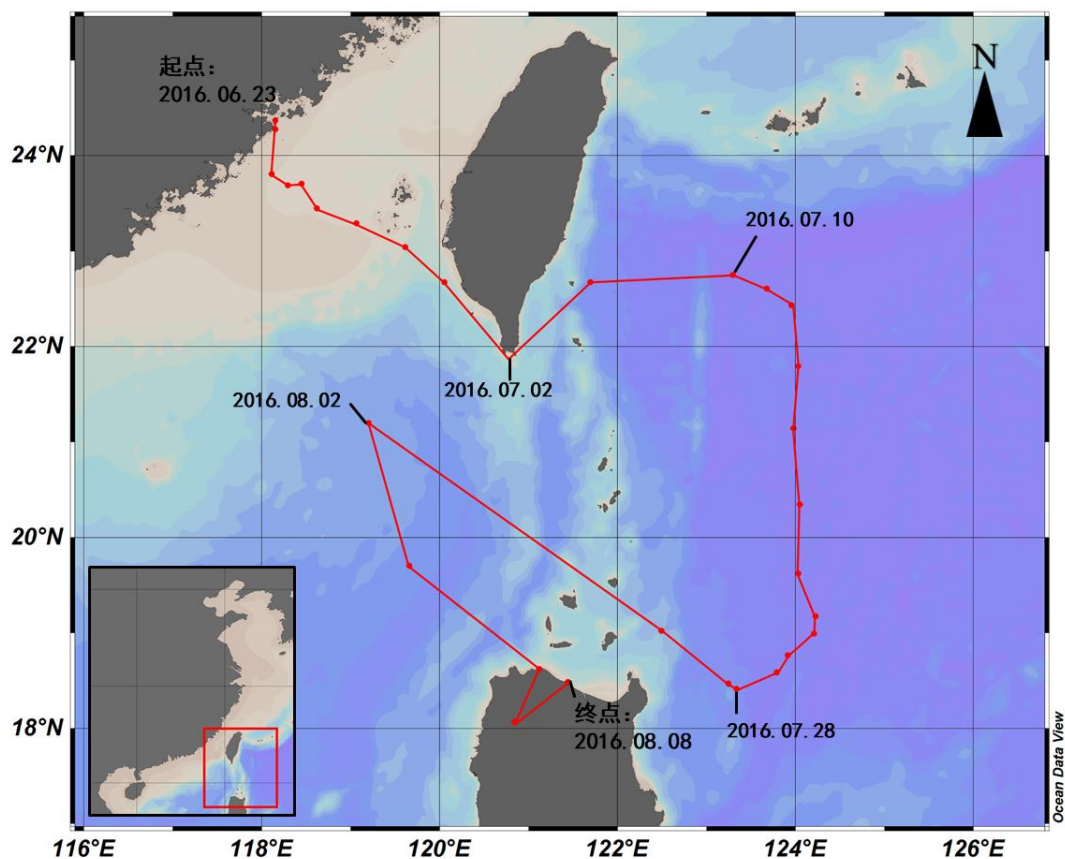


图 2.5 序号 3 绿海龟（162716）路径图

Figure 2.5 No.3 Green turtle (162716) tracking path

2.3.2.4 序号 4 绿海龟

该绿海龟（定位仪编号：162714）为福建东山渔民误捕龟，并在捕获一周内时间安排了释放，几乎未经人工喂养。2016年11月15日海龟从福建东山海域释放。经历18天无坐标数据后，第一个坐标信息在12月4日出现，定位在广东阳江海域。游走数天后，12月中旬离开阳江海域，以20 km/天的速度北上至汕尾。12月末至2017年1月11日在汕尾-汕头海域活动，随后在14天里向东缓慢迁移170 km至台湾海峡南部峡口处（该海域有著名的闽南-台湾浅滩渔场），并于1月25日信号消失，未显示其脱离水环境。消失原因未知，追踪天数为53天（图2.6）。

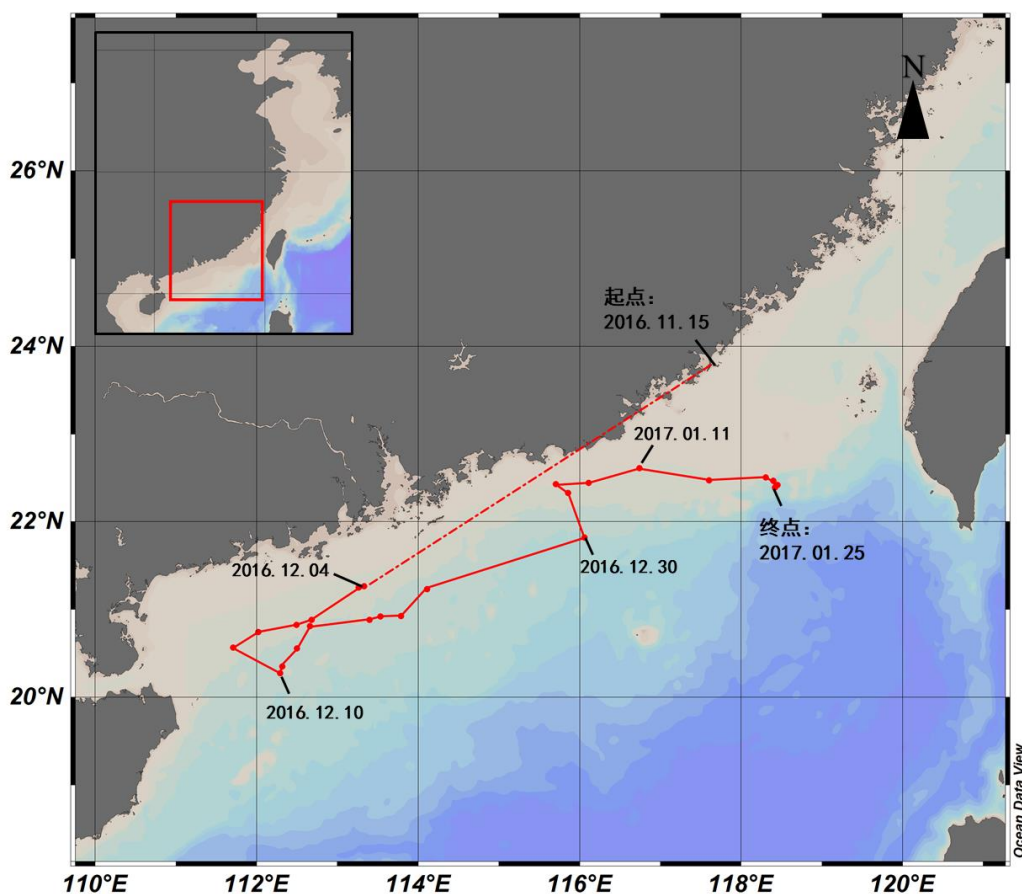


图 2.6 序号 4 绿海龟（162714）路径图

Figure 2.6 No.4 Green turtle (162714) tracking path

2.3.2.5 序号 5 绿海龟

该绿海龟（定位仪编号：153330）为福建东山渔民误捕，在捕获一周内时间安排了释放，几乎未经人工喂养。2018年1月3日从福建东山湾释放5天后收到第一个位置信号，位置在汕头东南方向相距130 km的海域，随后坐标信号中断12天，并于1月21日显示位置在跨越台湾海峡来到澎湖列岛南部海域，并向澎湖列岛迁移。从2月9日至4月10日的整整2个月里一直在澎湖列岛活动。随后离开澎湖列岛北上，以50 km/天的速度到达台湾北部近岸，从4月19日至6月2日一直在台湾北部，并且完全局限在台湾新北市淡水区的近岸极小的范围内，数据量异常大。6月2日信号消失。对于该时段内海龟的生命状况不得而知，追踪天数为149天（图2.7）。

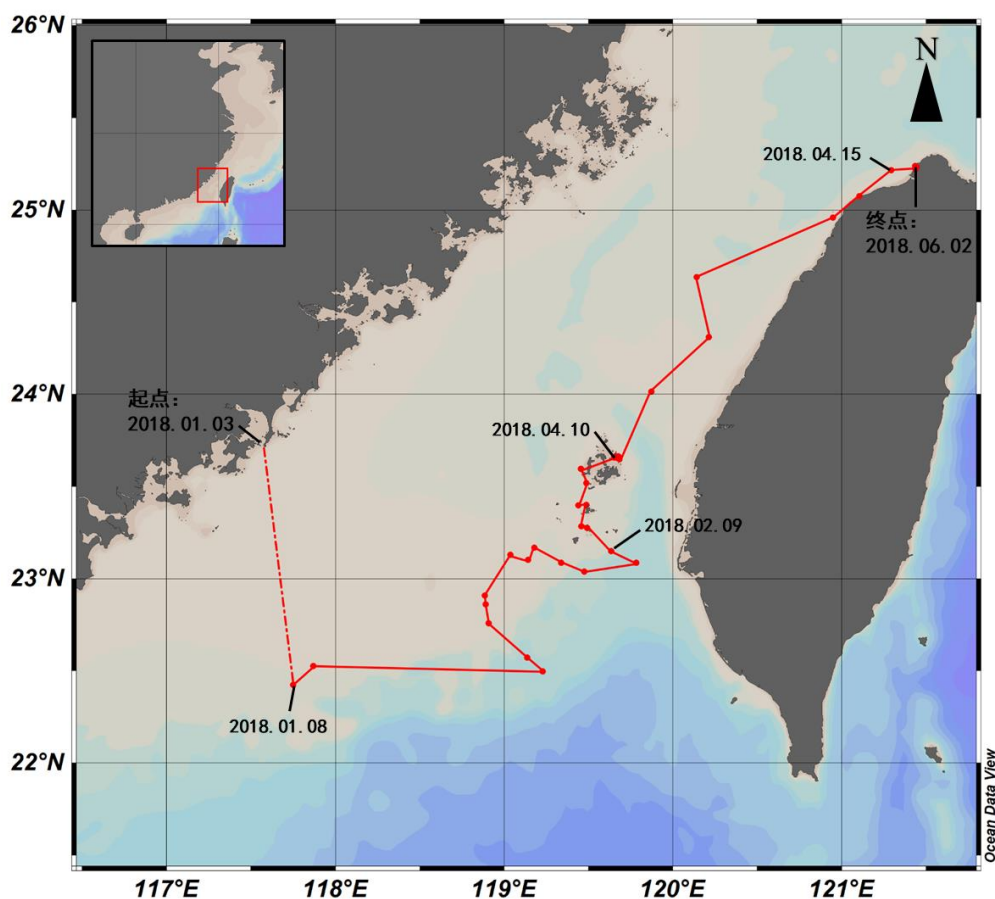


图 2.7 序号 5 绿海龟（153330）路径图

Figure 2.7 No.5 Green turtle (153330) tracking path

2.3.2.6 序号 6 绿海龟

该绿海龟(定位仪编号: 162711)为天津海洋馆救护的海龟,来源海域不明,人工饲养时间较久。于 2018 年 10 月 30 日从厦门海域释放后,在厦门和金门附近游走 6 天左右,以 50 km/天的逐渐北上,途径泉州近岸,并在 11 月 7 日至 12 月 12 日消失前,25 天里均在莆田至平潭岛之间的近岸活动。消失地点为莆田近岸渔业作业频繁的区域,最终数据显示其脱离水环境,追踪天数为 43 天(图 2.8)。

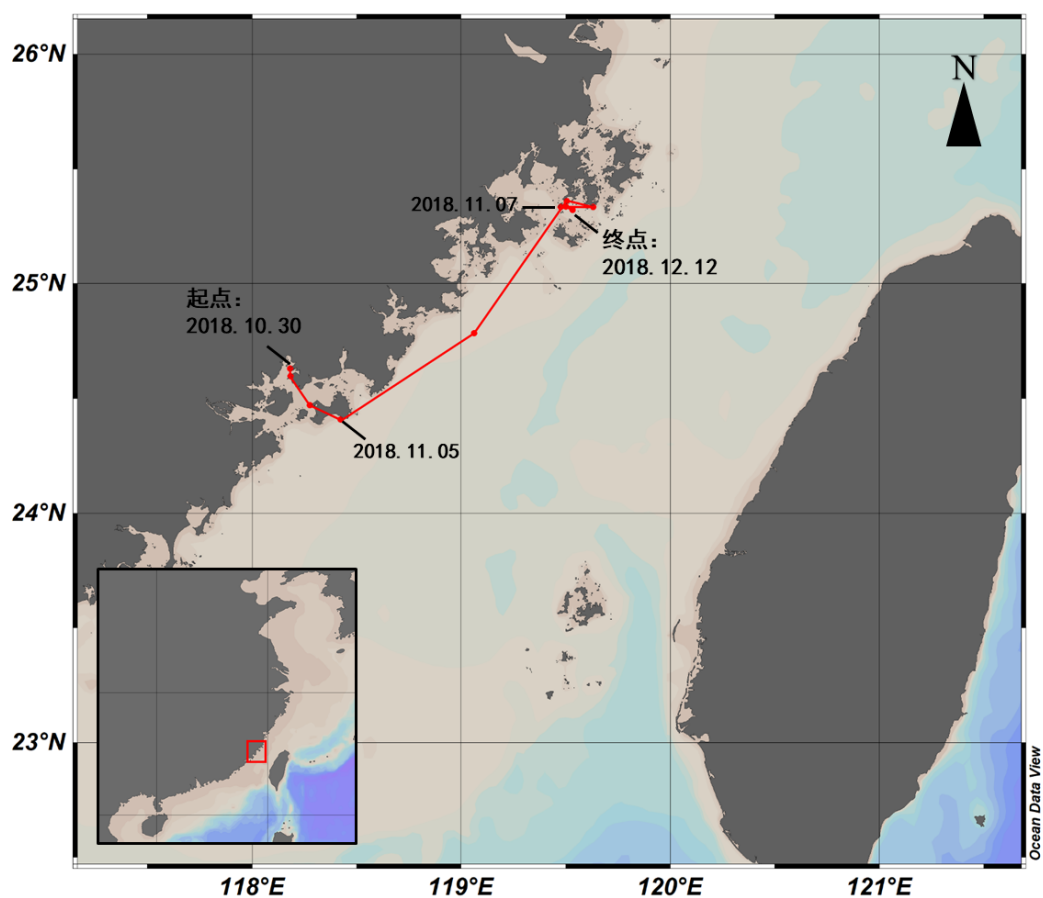


图 2.8 序号 6 绿海龟 (162711) 路径图

Figure 2.8 No.6 Green turtle (162711) tracking path

2.3.2.7 序号 7 绿海龟

该绿海龟（定位仪编号：162712）与 6 号相同，为天津海洋馆救护的海龟，来源海域不明，人工饲养时间较长。于 2018 年 10 月 30 日从厦门海域释放，前期游泳状况良好，且目的性极强，从福建广东沿岸南下后，途径东沙岛，以 30 km/天的速度直奔菲律宾，于 11 月 30 日到达菲律宾吕宋岛（Luzon Island）北部近海。12 月起一直在菲律宾海域活动，沿吕宋岛海岸线南下，在菲律宾境内的多个岛屿之间活动，直至 1 月 23 日消失在菲律宾中部，吕宋岛南岸海域。从地理位置来看，其后期进入近岸人为活动频繁的区域，但数据并未显示其脱离水环境，因此无法确定其消失原因。涉及中国和菲律宾海域，追踪天数为 85 天（图 2.9）。

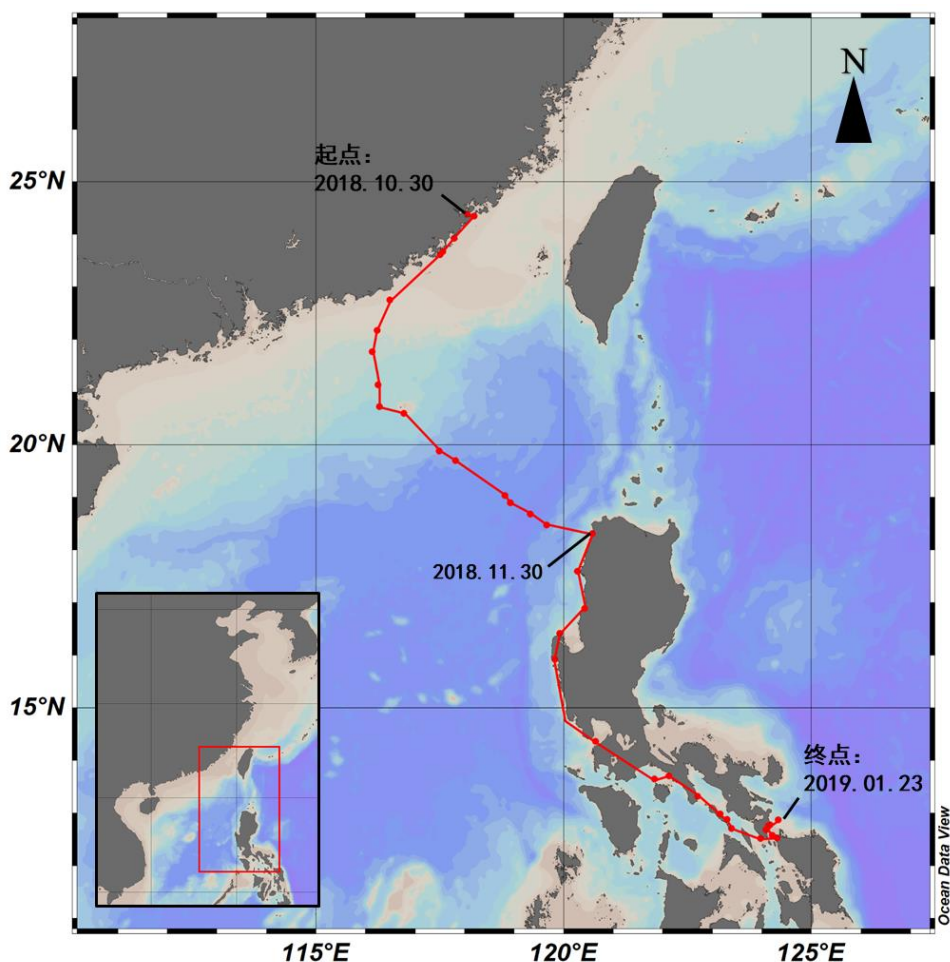


图 2.9 序号 7 绿海龟 (162712) 路径图

Figure 2.9 No.7 Green turtle (162712) tracking path

2.3.2.8 序号 8 绿海龟

该绿海龟（定位仪编号：153329）为福建东山渔民误捕，误捕后一周内安排了放归，几乎未经人工饲养。于 2018 年 12 月 24 日从福建东山湾释放立即游离近岸，在汕尾市东南方向 100 多 km 的海域有 10 余天的停留。随后继续向南迁移 180 km 至东沙岛西南部海域，2019 年 1 月 24 日-3 月 4 日约 40 天中，在该海域内活动。随后的 3 月 5 日-4 月 3 日之间的 30 天中一直在东沙岛礁盘附近活动，直至信号消失。消失前状况正常，消失原因未知。追踪天数为 99 天（图 2.10）。

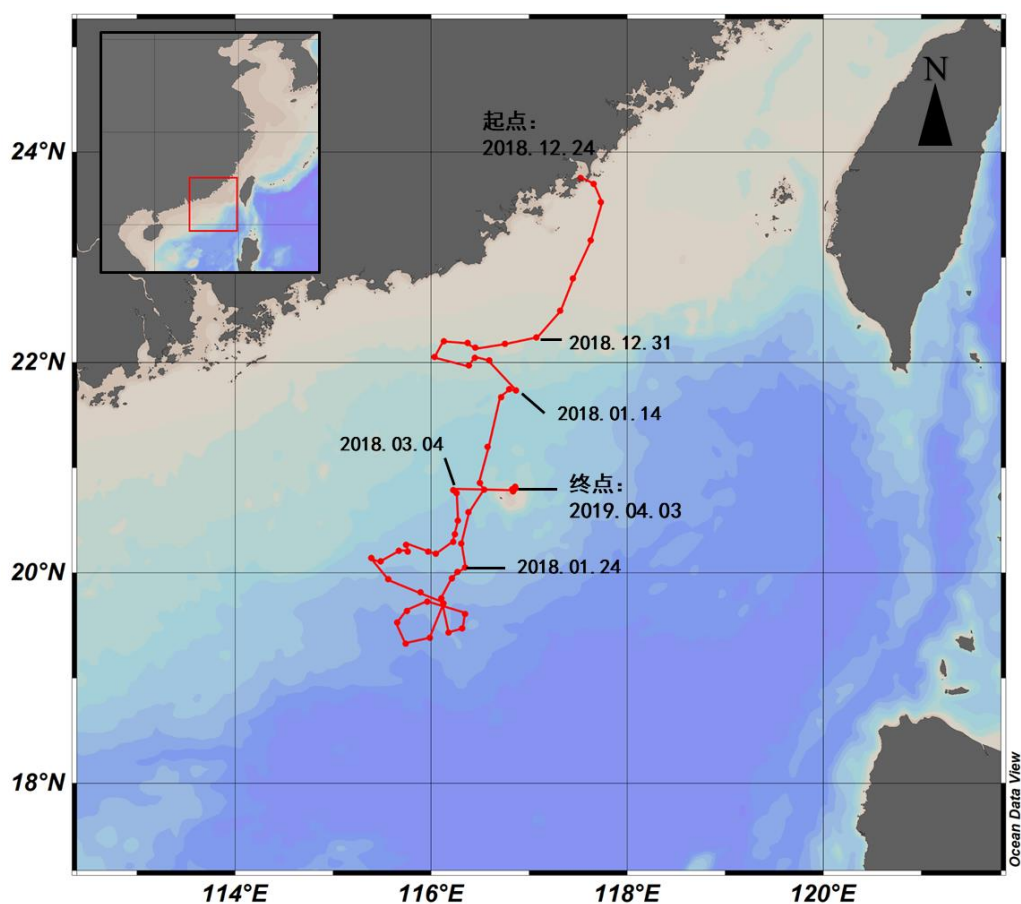


图 2.10 序号 8 绿海龟（153329）路径图

Figure 2.10 No.8 Green turtle (153329) tracking path

2.3.2.9 序号 9 绿海龟

该绿海龟（定位仪编号：162723）为渔民误捕后上交广西合浦儒艮国家级自然保护区救治 1 个月后释放。2019 年 1 月 8 日从北海海域释放后的 78 天内，以平均 7 km/天的速度从北海沿着雷州半岛海岸线，一路游至阳江海域，于 3 月 13 日由阳江上川岛离岸，以 25 km/天的速度向外海迁移。3 月 19 日开始以 32 km/天的速度向东迁移，在东沙岛西南 200 km 的海域停留 10 天左右，继续向台湾方向迁移，以平均 27 km/天的速度于 4 月 29 日到达台湾澎湖列岛。海龟在澎湖列岛逗留仅 2 天后跨台湾海峡，向福建泉州-莆田海域前进，信号仍在传输中，本图数据截止在 2019 年 5 月 3 日，追踪天数为 115 天（图 2.11）。

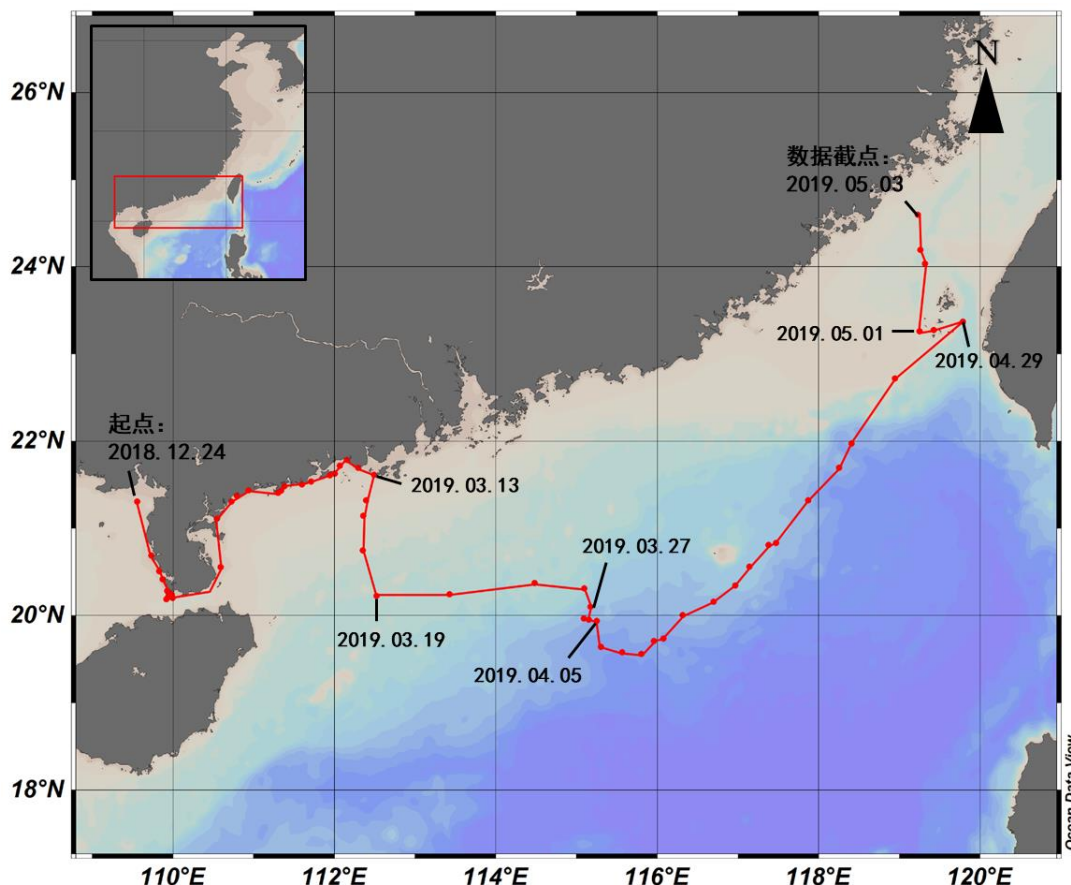


图 2.11 序号 9 绿海龟 (162723) 路径图

Figure 2.11 No.9 Green turtle (162713) tracking path

2.3.2.10 序号 10 蠓龟

该蠓龟（定位仪编号：153333）为福建东山渔民误捕，在误捕一周内安排释放，几乎未经人工饲养。于 2017 年 4 月 7 日从福建东山湾释放后一路北上，移动速度大约为 35 km/天，并在 4 月 25 日-5 月 5 日期间的 10 天，在台湾北部和浙江之间的海域停留。然后继续以 60 km/天的速度北上，5 月 24 日-6 月 1 日期间的 8 天在东海大陆架中部边缘做了短暂停留，随后上至东海大陆架北部。从 6 月 8 日-10 月 13 日期间的 120 余天中，一直在东海大陆架北部逗留，其中济州岛西南方向 90 km 左右的海域内逗留时长达 90 余天；10 月中旬后开始以 20 km/天的速度南下，11 月 10 日-2018 年 1 月 2 日间的 50 余天中，在浙江东部 350 km 处的海域做小范围内活动。然后开始缓慢北上，最终信号于 1 月 21 日消失在日本吐噶喇群岛的中之岛（Nakano-shima of Tokara Islands）近岸海域。信号消失区域的岛屿为日本的蠓龟产卵场。涉及中国和日本海域，追踪天数为 291 天（图 2.12）。

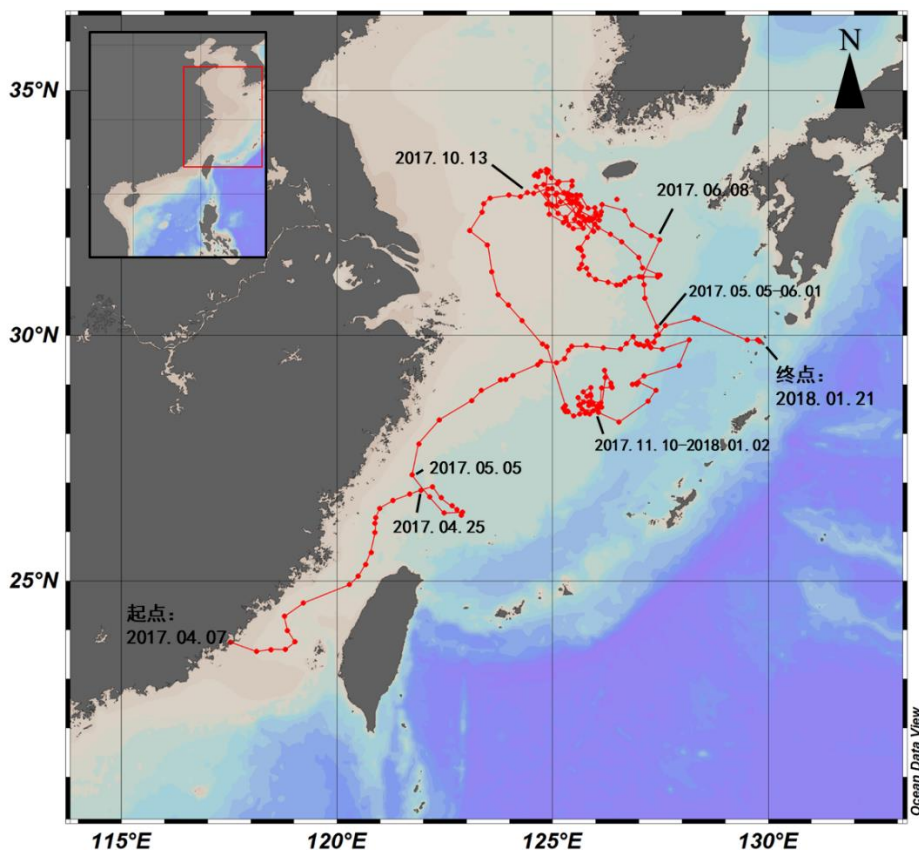


图 2.12 序号 10 蠓龟 (153333) 路径图

Figure 2.12 No.10 Loggerhead turtle (153333) tracking path

2.3.2.11 序号 11 蠓龟

该蠓龟（定位仪编号：162713）为福建东山渔民误捕，在误捕后一周内安排释放，几乎未经人工饲养。于 2017 年 9 月 6 日在福建东山湾释放，释放后即开始北上，但信号很快就消失在漳浦海域，消失原因未知。追踪天数为 7 天（图 2.13）。

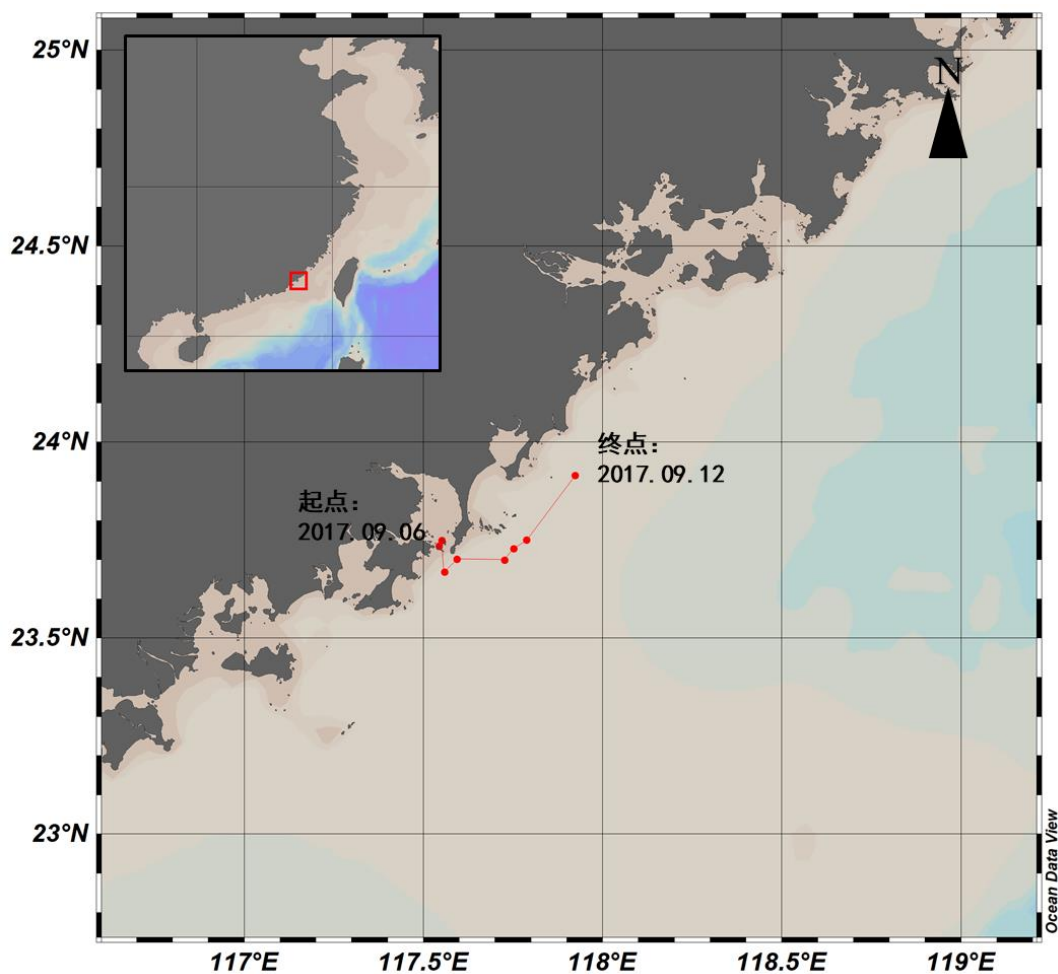


图 2.13 序号 11 蠓龟 (162713) 路径图

Figure 2.13 No.11 Loggerhead turtle (162713) tracking path

2.3.2.12 序号 12 蠓龟

该蠓龟（定位仪编号：153332）于 2017 年 9 月中下旬被福建东山渔民于台湾海峡被捕，并立即安排释放。其前肢携带日本海龟协会的钢签，后经联系，原为日本在室户海角（Cape Muroto）近岸被定置网误捕的海龟，随后于误捕当天（2016 年 7 月 20 日）在室户市近岸释放。该海龟于 9 月 26 日从东山海域释放，从 5 天内的路径来看海龟仅在东山湾附近海域活动，消失原因不详。追踪天数为 5 天（图 2.14）。

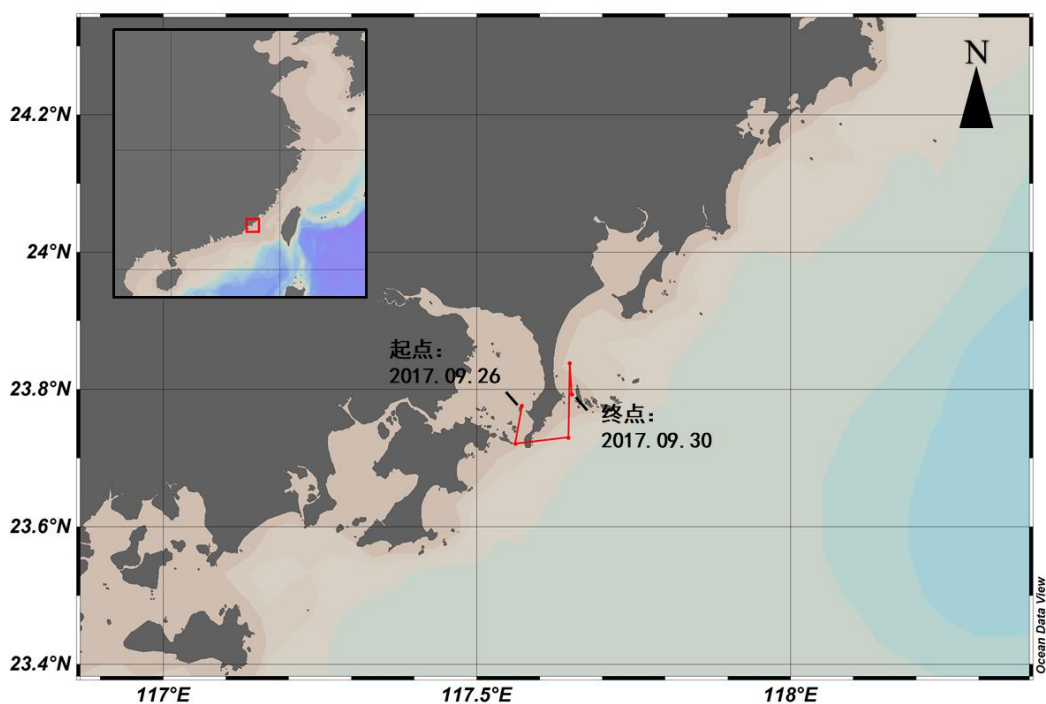


图 2.14 序号 12 蠓龟 (153332) 路径图

Figure 2.14 No.12 Loggerhead turtle (153332) tracking path

2.3.2.13 序号 13 蠓龟

该蠓龟（定位仪编号：153331）为福建东山渔民误捕，在误捕后 1 周内安排释放，几乎未经人工饲养。于 2017 年 12 月 3 日从福建东山海域释放后，直接游离岸边，南下至东沙岛与广东之间的海域，在 2018 年 1 月 9 日-2 月 15 日间的 25 天内密集出现在一段区域。随后缓慢返回至台湾海峡南部峡口海域（闽南-台湾浅滩渔场），并自 3 月 2 日-8 月 2 日的 5 个月里逗留在此处。该海龟全程没有迁移至较远海域，一直在广东和福建海域活动。于 2018 年 8 月 2 日信号消失在台湾海峡南部海域，消失原因未知。追踪时间为 242 天（图 2.15）。

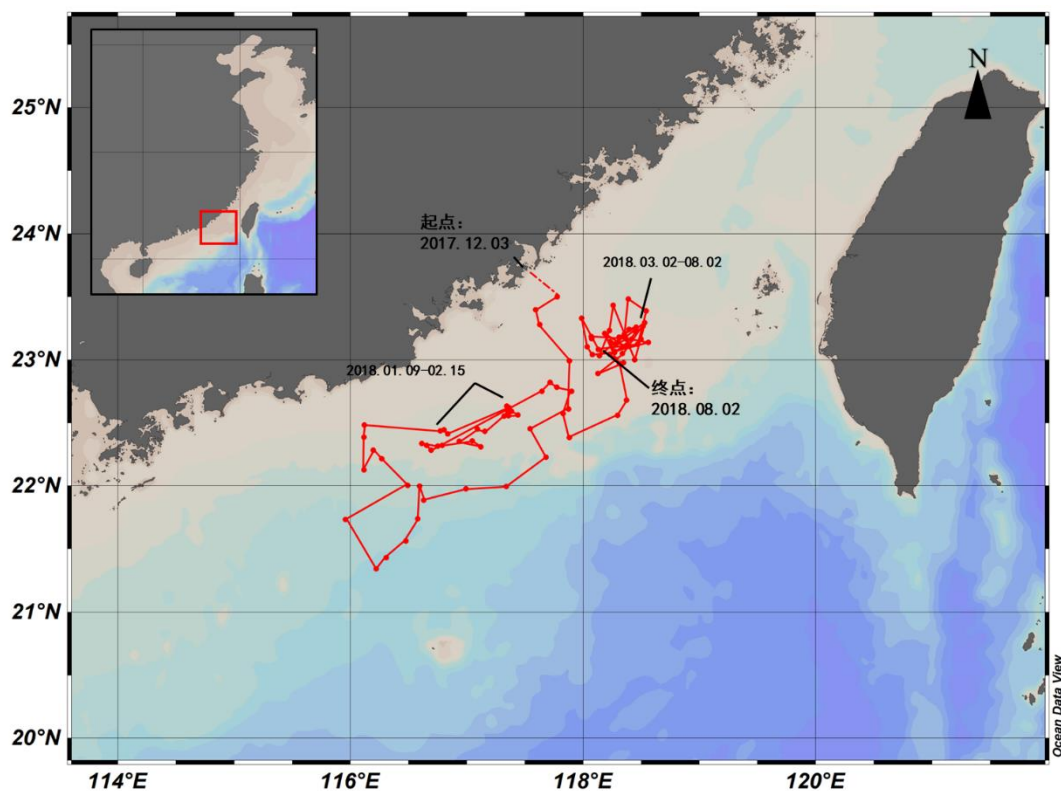


图 2.15 序号 13 蠓龟 (153331) 路径图

Figure 2.15 No.13 Loggerhead turtle (153331) tracking path

2.3.2.14 序号 14 蠓龟

该蠓龟（定位仪编号：162721）为福建东山渔民误捕，在误捕后 1 周内安排释放，几乎未经人工饲养。于 2018 年 1 月 3 日自福建东山海域释放。第一个信号为 6 天后在距汕头 120 km 的海域，后沿着广东海岸线以平均 20 km/天的速度一路南下，于 2 月 20 日到达海南，随即继续沿海岸线以约 30 km/天的速度南下于 3 月 8 日抵达北部湾海域。直至 4 月 17 日信号消失前的 30 天中均在北部湾内活动。涉及中国和越南海域，追踪天数为 103 天（图 2.16）。

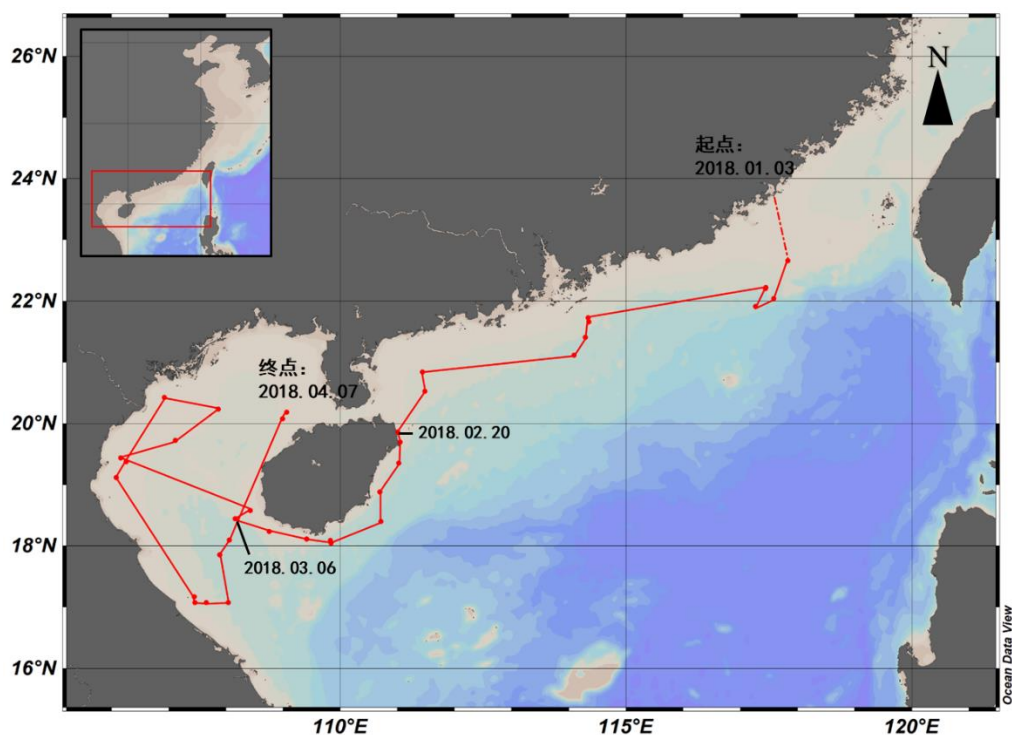


图 2.16 序号 14 蠓龟 (162721) 路径图

Figure 2.16 No.14 Loggerhead turtle (162721) tracking path

2.3.2.15 序号 15 蠓龟

该蠓龟（定位仪编号：80066）为福建东山渔民误捕，在误捕后 1 周内安排释放，几乎未经人工饲养。于 2018 年 12 月 24 日自福建东山海域附近释放。12 天内海龟一直在东山近岸海域活动未游出。消失时有数个高精度度的坐标数据显示其位于陆地上。追踪天数为 12 天（图 2.17）。

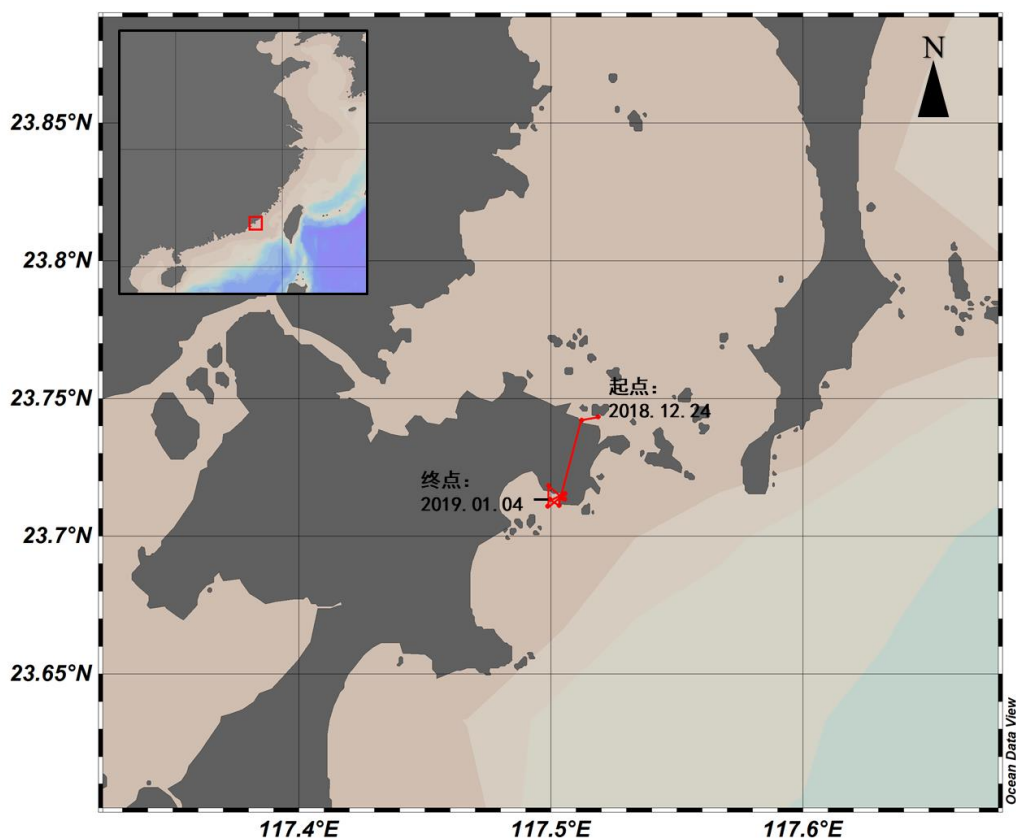


图 2.17 序号 15 蠓龟（80066）路径图

Figure 2.17 No.15 Loggerhead turtle (80066) tracking path

2.3.2.16 序号 16 太平洋丽龟

该太平洋丽龟（定位仪编号：57151）为福建东山渔民误捕，在误捕后 1 周内安排释放，几乎未经人工饲养。于 2017 年 4 月 7 日自福建东山海域释放。释放后便游向台湾海峡中部后随即以北上，以 15 km/天的速度缓慢迁移至舟山群岛以东海域。从 6 月 9 日-9 月 10 日间的 3 个月中一直在该海域逗留，直至 9 月中旬开始南下，并在南下过程中，于 9 月 24 日失去信号，终点位置在距浙江台州 120 km 的海域，消失原因未知。追踪天数为 170 天（图 2.18）。

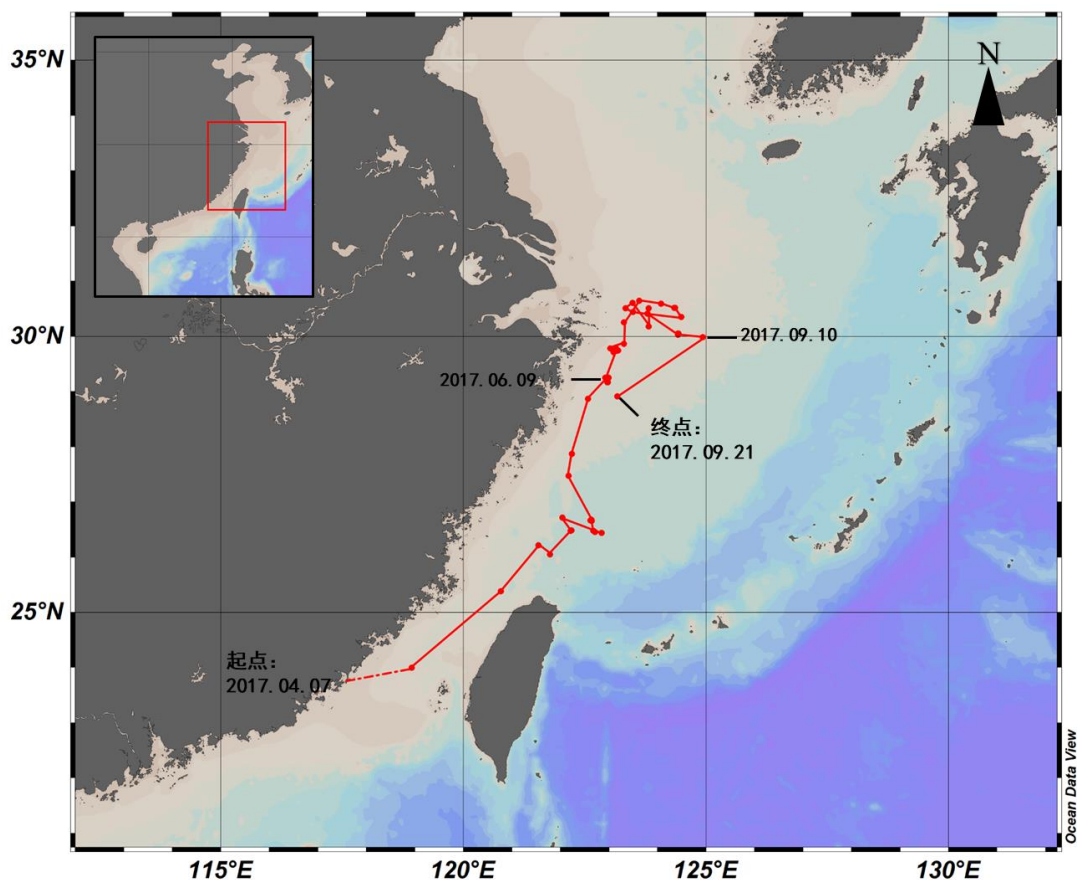


图 2.18 序号 16 太平洋丽龟 (57151) 路径图

Figure 2.18 No.16 Olive ridley turtle (57151) tracking path

2.3.2.17 序号 17 太平洋丽龟

该太平洋丽龟（定位仪编号：162709）为福建东山渔民误捕，在误捕后 1 周内安排释放，几乎未经人工饲养。于 2017 年 12 月 3 日自福建东山湾附近放归。放归后以平均 20 km/天的速度一路南下，没有明显的长停留区域，直至在广东深圳南部 130 km 外的海域消失。消失时间为 12 月 26 日，消失原因未知。追踪天数为 23 天（图 2.19）。

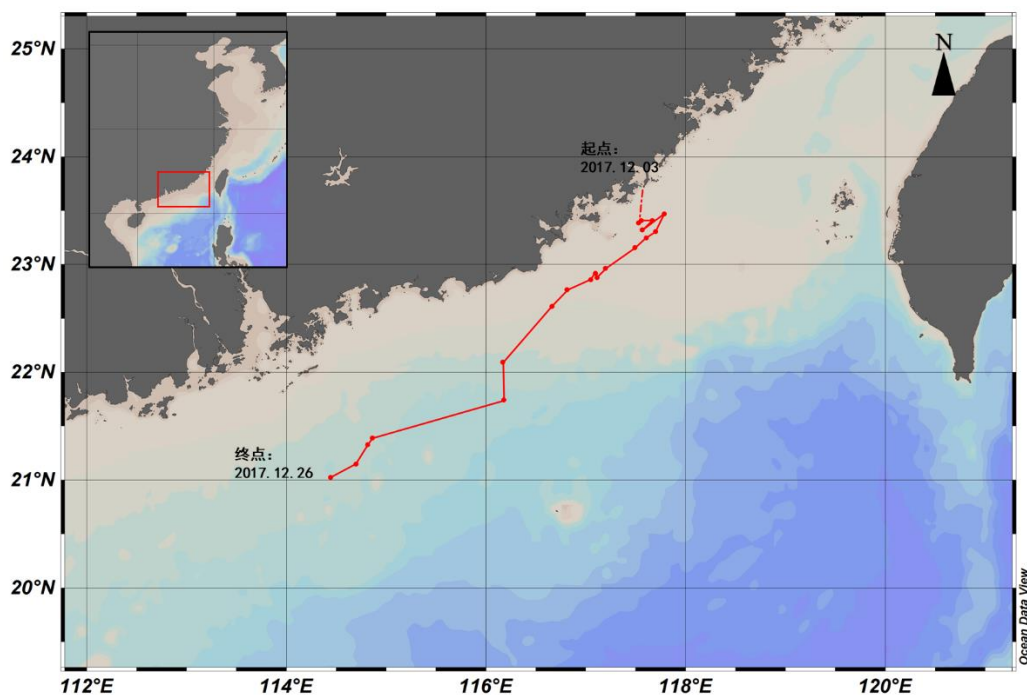


图 2.19 序号 17 太平洋丽龟（162709）路径图

Figure 2.19 No.17 Olive ridley turtle (57151) tracking path

2.4 讨论

2.4.1 绿海龟迁移特征

本研究追踪的 9 只绿海龟，累积达 651 天。除序号 1 绿海龟因吞食异物身体状况不佳，而在释放 5 天后确认死亡外，其余 8 只追踪时间在 47~149 天之间，总追踪天数达 646 天（表 2.5、表 2.6）。这 8 只海龟中，9 号海龟为北海释放，其余 7 只海龟为福建海域（东山和厦门）释放，弥补了我国在福建海域和广西海域海龟卫星定位追踪的空白（图 2.20）。其迁移路径及逗留时间有以下特点：

- (1) 绿海龟基本呈现比较明显的沿陆地海岸线方向，在近岸和近海迁移的特征。两只海龟在向菲律宾方向迁移过程中经过大洋区，但其并没有在大洋区逗留，而是有目的性的向菲律宾近海海域迁移。
- (2) 3 只海龟（2、3、5 号）在福建释放后直接横跨或多次横跨台湾海峡，且有沿台湾西海岸线迁移的特征。其中 2 号和 5 号海龟在台湾近岸海域逗留时间较久：2 号有停留 10 余天，且离开后再次返回台湾；5 号则有 120 余天，在有目的性的前往台湾后，一直在台湾近海，澎湖列岛和台湾北部的新北市近岸为两大逗留热点，分别有 50 天左右。
- (3) 3 只海龟（2、6、9 号）在大陆近岸（距海岸<10 km）有明显逗留。2 号在福建莆田逗留 10 天左右。6 号则在莆田至平潭岛近岸逗留 25 天左右。9 号在广东雷州半岛-阳江近岸逗留 60 余天。结果表明，莆田至平潭岛近岸，以及雷州半岛-阳江近岸为绿海龟的另外两大逗留热点。
- (4) 2 只海龟（8、9 号）有明显向东沙岛方向迁移的路径，且在东沙岛或其周边海域长时间逗留。7 号在东沙岛南部海域逗留 40 余天，在东沙岛礁盘区域逗留 30 余天；9 号信号仍在接受中，目前在东沙岛南部海域逗留 10 余天后开始向东沙岛方向迁移。结果表明，东沙岛附近海域为绿海龟的另外一个逗留热点。
- (5) 2 只海龟（3、7 号）在菲律宾沿岸长时间逗留。3 号在菲律宾北部海域游走 18 天后消失。8 号在菲律宾逗留 40 余天，沿吕宋岛南部沿岸迁移至菲律宾中部地区消失。

值得注意的是，虽然西沙群岛为我国绿海龟的最大产卵地而且珊瑚礁和海草

床面积广阔（杨位迪 等，2019；Jia et al., 2019, In press），但是本研究追踪的海龟中并没有发现有绿海龟在西沙群岛海域做长期逗留。

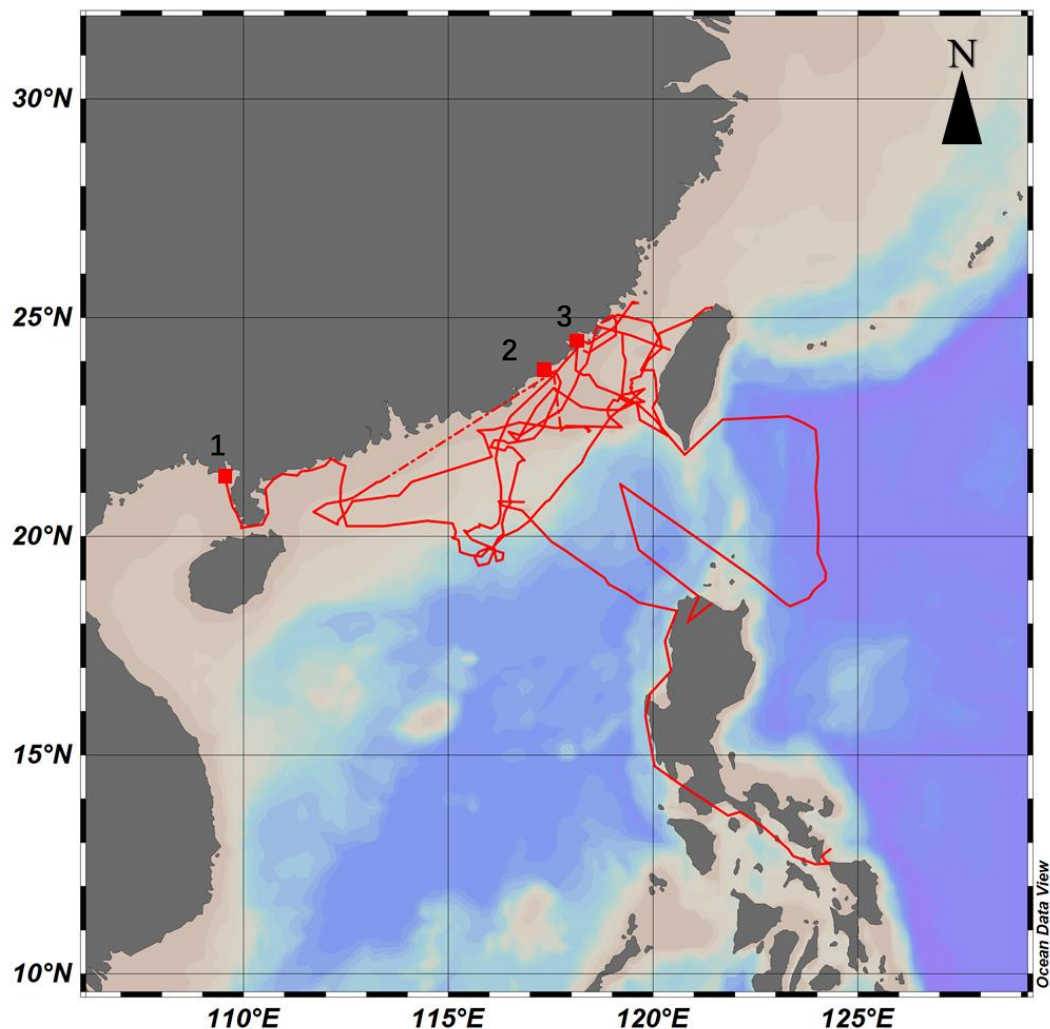


图 2.20 绿海龟追踪路线总图 (n=8)

Figure 2.20 Tracking paths of green turtles (n=8)

（红色方块为释放点，1：广西北海，2：福建东山，3：福建厦门）

虽然本研究对误捕海龟的追踪无法确切确定其觅食场所在地，但可根据其位置数据点得出活动的热点地区（图 2.21）。绿海龟主要热点地区有广东雷州半岛-阳江海域、东沙岛附近海域、汕头-汕尾近海、台湾海峡南部峡口、福建莆田近岸海域、台湾澎湖列岛、台湾西南部及北部沿岸、菲律宾吕宋岛北部及南部沿岸海域等。

雌龟产卵后具有回归觅食场的行为。通过雌龟产卵后的卫星定位追踪，描述了我国以及周边国家海域内绿海龟的觅食场有：越南白龙尾岛（北部湾内）、海南东岸的万宁、广东雷州半岛、珠海万山群岛、东沙岛、惠东、汕头芹澎岛、台湾澎湖列岛、台湾北部近岸、菲律宾吕宋岛（Luzon Island）北部和巴拉望岛（Palawan Island）、日本琉球群岛、日本冲绳岛、日本南部 Koshiki 岛等海域（Chan et al., 2003, 2007; Cheng, 2000, 2007; Ng et al., 2014; Ng, 2015; Ng et al., 2018; Song et al.）（如图 2.21 绿色三角所示）。

本研究追踪到的海龟热点地区与上述绿海龟觅食场有很高的重合性，如广东雷州半岛、东沙岛、菲律宾吕宋岛（Luzon）、台湾北部近岸、台湾澎湖列岛等。

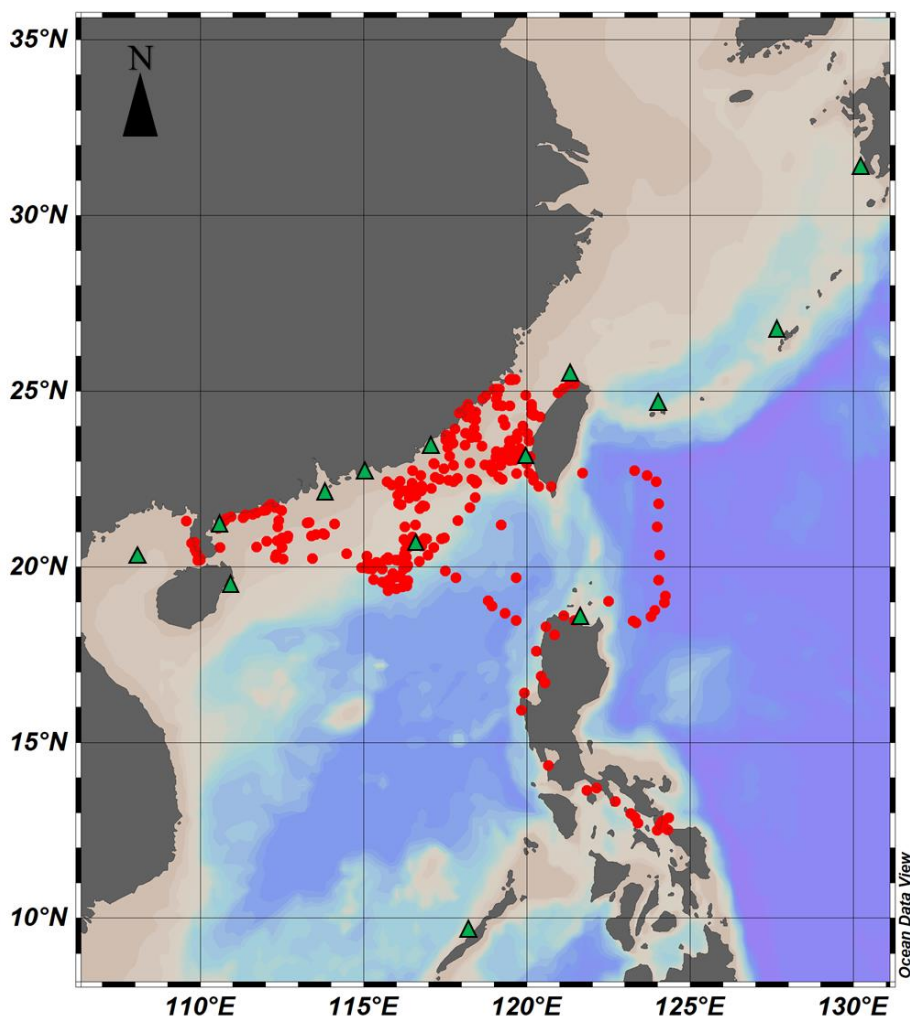


图 2.21 绿海龟热点海域及觅食场分布

Figure 2.21 Hotspots and foraging ground of green turtles

（红色点为本研究海龟定位点，绿色三角为其他研究确定的觅食场）

2.4.2 蠍龟迁移特征

本研究追踪的 6 只蠍龟，累积达 660 天，其中 3 只追踪天数在 103-291 天之间，共 636 天（表 2.5、表 2.6）。3 只蠍龟从迁移路径上看没有明显的共同点，且迁移范围非常广，北至东海大陆架北部，南至北部湾，且体现出了各自偏好的逗留区域（图 2.22）。10 号蠍龟的主要逗留区域为东海大陆架中北部与浙江及台湾北部直接海域（临近舟山群岛渔场），尤其在韩国济州岛南部海域逗留时间最长。13 号则在广东-福建海域，尤其是台湾海峡南部的峡口处（闽南-台湾浅滩渔场所在地）。14 号则是在北部湾海域（北部湾渔场所在地）。

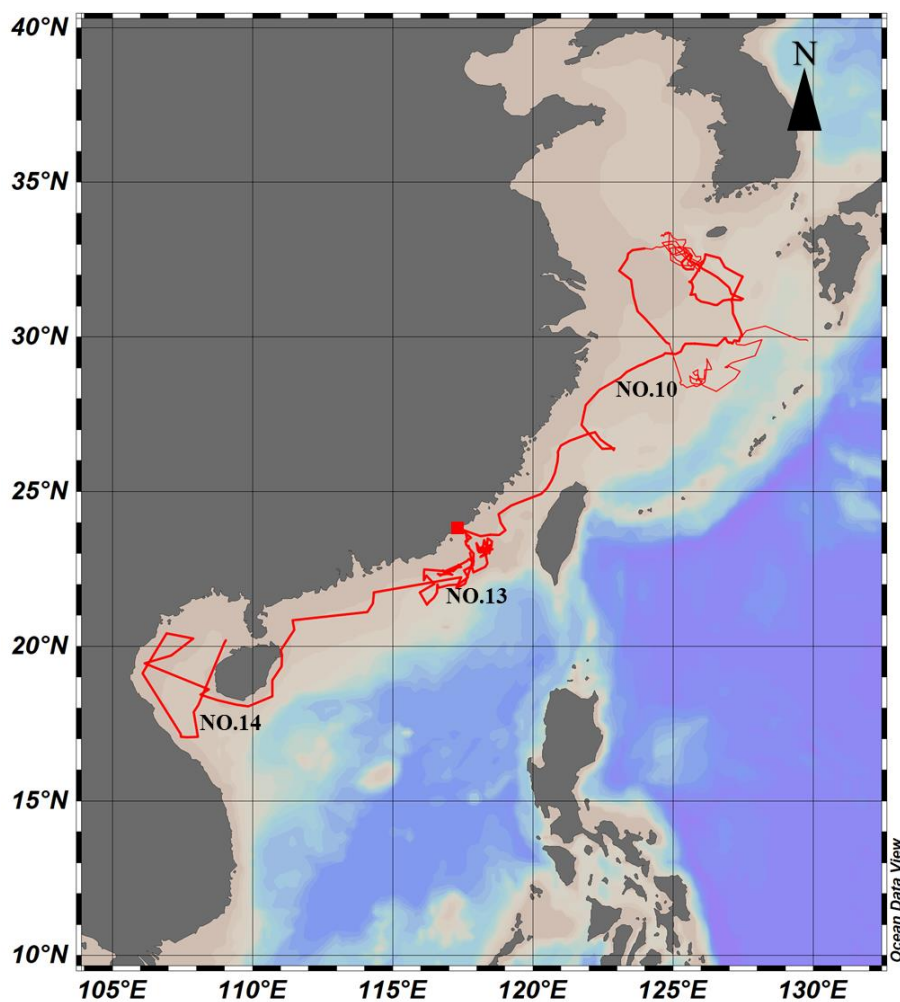


图 2.22 蠍龟追踪路线图 (n=3)

Figure 2.22 Tracking pathes of loggerhead turtles (n=3)

(红色方块为释放点福建东山)

日本南部群岛为蠓龟在北太平洋内最大的产卵地和栖息地。作为日本研究最成熟的海龟物种，Kobayashi (2011) 将 34 只来自台湾东海岸陷阱网误捕的蠓龟进行了定位仪的标记，总结出其分布范围在中国海域内北至胶东半岛南部海域，南至我国南海最南端，几乎遍布整个中国海域。确定的热点地区主要为台湾海峡南部峡口海域、台湾北部海域和东海大陆架中南部（如图 2.23 绿色底纹所示）。

本次研究所呈现的蠓龟活动的热点海域与 Kobayashi (2011) 的研究结果非常吻合，且本研究的热点区域与我国渔场分布也很吻合。这可能与蠓龟主要捕食底栖无脊椎动物及小型鱼类有关。

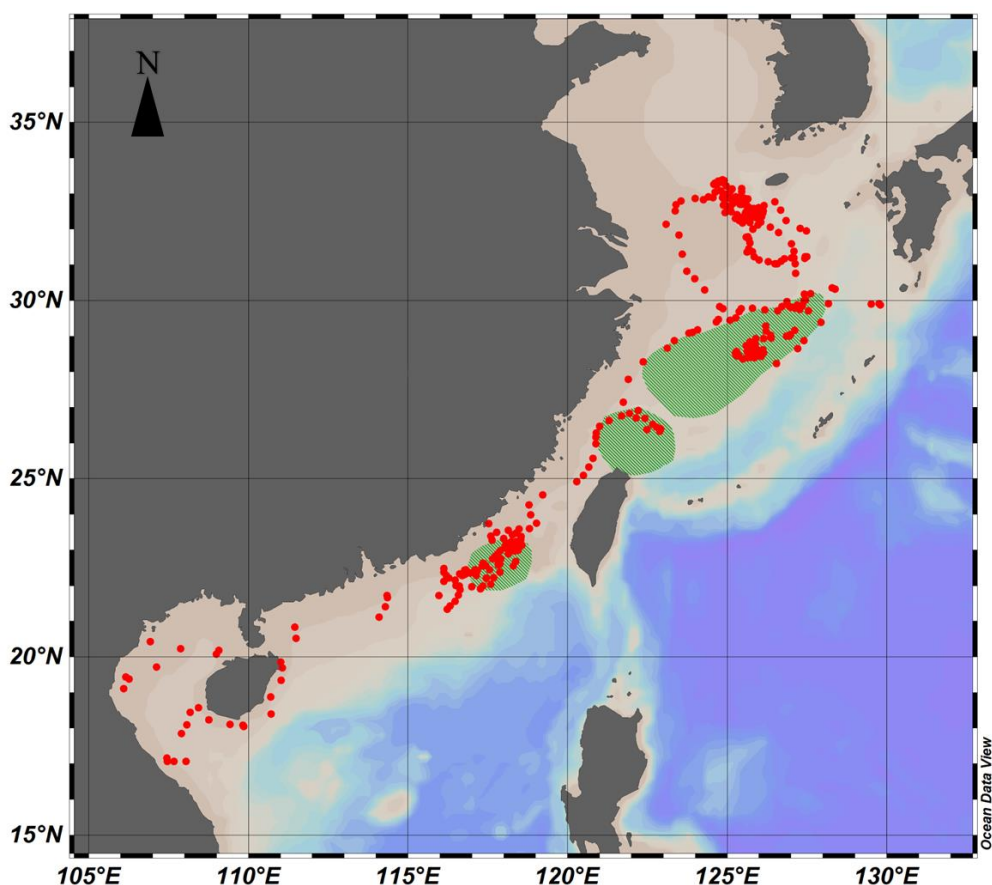


图 2.23 蠓龟热点海域

Figure 2.23 Hotspots of loggerhead turtles

（红色点为本研究海龟定位点，绿色底纹为其他研究确定的热点海域）

2.4.3 太平洋丽龟迁移特征

本研究追踪的 2 只太平洋丽龟，追踪天数分别为 24 和 170 天，共 194 天（图 2.24）。两只太平洋丽龟的迁移方向和分布区域完全相反，其中 16 号丽龟由于有 170 天的追踪天数，可以清晰的呈现期长期逗留区域位于舟山群岛和长江入海口以东海域。该区域临近我国的舟山群岛渔场，渔业资源丰富，渔业活动频繁。由于太平洋丽龟以无脊椎动物和小型鱼类为食，所以该区域可能是太平洋丽龟的觅食场。17 号丽龟由于仅有 24 天的标记时间，无法看出其有明显的栖息地选择，但是有很强的目的性地一路南下。

对于太平洋丽龟的追踪研究我国非常缺乏。在 Ng（2015）中有一例，放归点为台湾南部，其显示的热点地区为菲律宾吕宋岛与中国大陆之间的海域中央，符合了太平洋丽龟偏好大洋性栖息的特点（Plotkin, 1994; Plotkin et al., 1994）。而本研究的两例迁移路径则不同，分布更偏向于近海，均在大陆架海域活动。关于我国海域太平洋丽龟的迁移方式有待做进一步的深入研究。

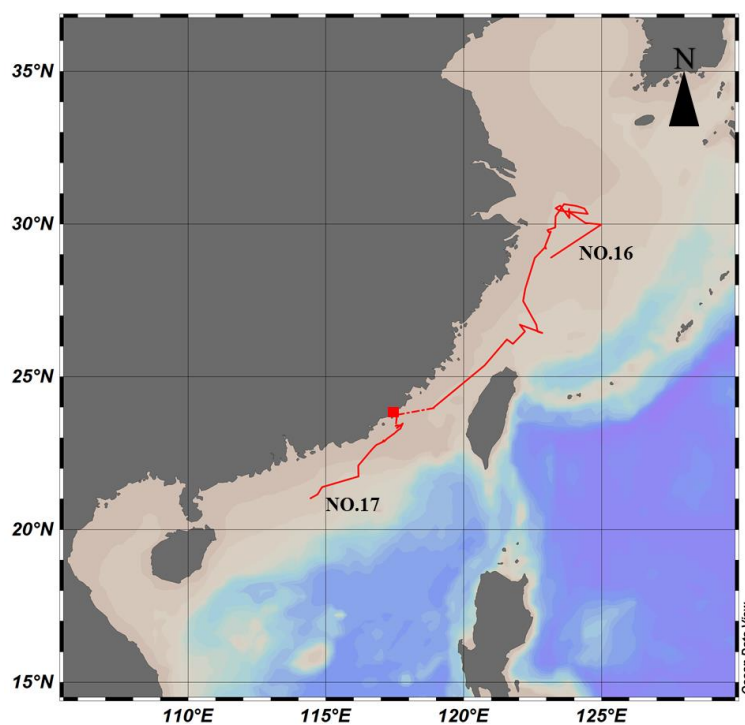


图 2.24 太平洋丽龟的追踪路线图 (n=2)

Figure 2.24 Tracking pathes of olive ridley turtles (n=2)

(红色方块为释放点福建东山)

2.4.4 海龟的总体迁移特征

本研究一共追踪了 17 只海龟，包括绿海龟 9 只，蠓龟 6 只，太平洋丽龟 2 只，追踪天数 5~291 天，累积 1504 天。追踪的范围北至北纬 33°28′，南至北纬 6°21′，东至东经 129°48′，西至东经 105°36′，遍布东海和南海的近岸海域，活动范围涉及到中国、韩国、日本、菲律宾和越南等国家的海域。本节选取追踪天数大于 20 天的 13 个样本进行分析，包括 8 只绿海龟、3 只蠓龟和 2 只太平洋丽龟（图 2.25）。

从整体迁移路线来看，本研究所标记的三种海龟的活动范围明显的局限在大陆架内，水深在 200 m 以内的海域。仅有两只绿海龟在从中国近岸向菲律宾近岸的迁移途中涉及到大洋架外的大洋区水域，且未有明显的逗留。

对比三种海龟的迁移路径，绿海龟的活动范围更偏向热带亚热带海域。绿海龟（来源为台湾海峡误捕和北部湾误捕），最北迁移至台湾海峡，但并没有穿过台湾海峡向北部的东海海域迁移的迹象，仅仅是横跨海峡到达台湾近岸海域。而蠓龟和太平洋丽龟分别有 1 只（来源为台湾海峡误捕）通过台湾海峡北上至东海海域。

从迁移路线的密集度来看，台湾海峡是非常重要的迁移通道。本研究标记的海龟除一只绿海龟由北部湾释放外，其余均在台湾海峡内的福建海域（东山和厦门）释放，这对台湾海峡迁移路线密集度有了很大的贡献。但台湾海峡作为连接东海和南海大陆架海域的通道，是海龟在我国大陆架海域内做南北向迁移的必经通道。且从本研究中海龟的迁移方式来看，其更偏向于沿着陆地海岸线方向进行迁移，这使得海龟在南北向迁移中可能更容易选择台湾海峡而非台湾东部海域。另外台湾海峡的特殊的海流条件也可能在一定程度上影响了海龟的迁移。台湾海峡主要有 3 个主要的海流包括中国近岸流、南海暖流和黑潮分支(Hu et al., 2010)，其年变化与海龟迁移之间的关系有待进一步揭示。

本研究中总结出的海龟热点逗留区域主要有：北部湾、广东雷州半岛-阳江沿岸及近海、东沙岛附近海域及西部海域、汕头-汕尾近海、台湾海峡南部峡口、福建莆田附近海域、台湾澎湖列岛、台湾西南部及北部沿岸、菲律宾吕宋岛北部及南部沿岸海域、济州岛南部海域、长江口近海海域等。

绿海龟的逗留区域更偏向沿岸地区，迁移方式也偏向沿着陆地的海岸线方向。

这可能由于绿海龟的食性更偏向于植食性，觅食场更偏向于海草床丰富的浅海区域等原因。而蠓龟和太平洋丽龟的逗留区域则跟我国各大渔场的重合度更高，与其捕食无脊椎动物及鱼类的食性有关。

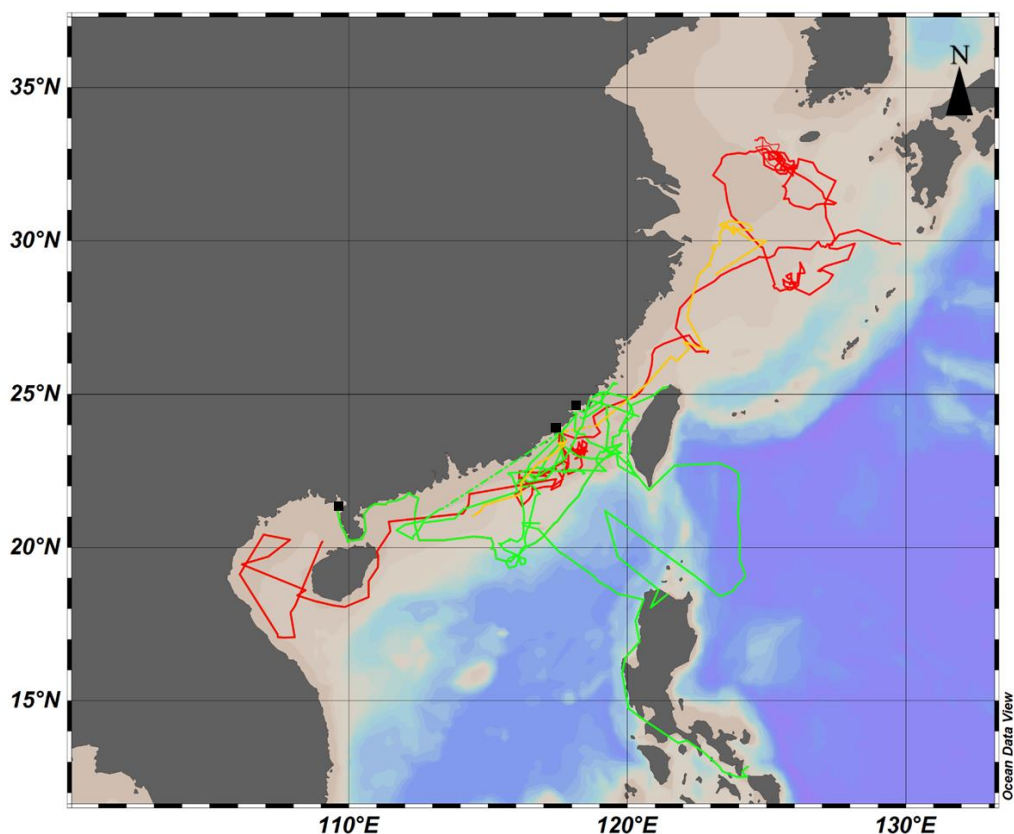


图 2.25 三种海龟总路线图 (n=13)

Figure 2.25 Tracking pathes of three species of sea turtles (n=13)

(绿色线条为绿海龟路径，红色线路为蠓龟路径，黄色线路为太平洋丽龟路径，黑色方块为海龟释放点)

2.4.5 海龟存活状况

海龟信号的消失原因是难以判断的，需要从定位仪信息、消失地点以及消失前移动状况等多方面进行评估。定位仪脱落沉入海底会导致信号消失，但根据安装技术来看，定位仪不会在非常短的几天内因脱胶而脱落。定位仪的脱落更有可能是由于海龟背甲因生长而褪去外层角质引起。信号消失原因归结为海龟死亡或

被误捕后摘除了定位仪等一系列特殊情况，仅仅是猜测，本人会对发生这些特殊情况的可能性大小进行详细说明。

定位仪内设的湿度传感器可指示海龟是否在水环境下。本研究中仅有 Wildlife Computers 的定位仪有设置这一信息功能。本研究设置的“离水”指示可规避海龟正常的浮出水面换气行为。另外一种自然的离水状况是雌海龟上岸产卵，这种行为会伴随着明显的往返陆地的路径图，比较容易确定。非自然情况下的“离水”有两种可能，一是被人为捕捞出水，二是搁浅在岸边，但是由于信息滞后的可能性，其具体情况需要具体分析。

消失地点也是一个重要的判定信息，消失在近岸的海龟有触及附近定置网溺死在水下的危险，且也可能是由于身体虚弱或死亡后，受海流作用而被限制在近岸区域。如若显示在陆地上，则可以通过坐标数据的精确度等级看其确实在陆地的可能性有多大，来判断是搁浅还是被人为带上陆地等原因。消失在近海或大洋里的海龟其消失原因是非常难以确定的，如若没有脱离水环境的信息辅佐，我们无法确定其是否被拖网作业等原因导致其被捕上岸，定位仪脱离水环境仍然可以继续发射信号，但是如若定位仪被至于室内，则无法传递信号。

消失前的移动状况可从计算移动速度来评估海龟的游动情况，以及是否出现人为导致的空间上的跳跃等等原因，其具体情况非常复杂多变，需要根据具体情况描述。

在标记的 17 只海龟中大概率确定出现被捕获和死亡的海龟具体信息见表 2.7。

表 2.7 大概率因死亡或被捕致使信号消失的海龟

Table 2.7 Sea turtles with high possibility of death and recapture

编号	海龟来源	判定原因	追踪天数
1	救助龟, 饲养超过 1 年	被确定搁浅在金门岛沙滩。吞食异物, 但是吞食时间并非释放后。有可能死亡原因为身体状况欠佳。	5
3	救助龟, 饲养约半年	没有出水信息, 但消失时间的近期坐标数据出现在菲律宾吕宋岛陆地上, 坐标精确度等级较高。有可能被带上陆地。	47
6	海洋公园放生龟	追踪时间虽然较长, 但该海龟追踪全程都比较偏好逗留在近岸, 最后消失在莆田各岛屿间海域。消失时显示脱离水环境, 很大可能被捕。	43
12	误捕龟, 未经人工饲养。	身上携带日本钢签, 原在日本近岸被定置网误捕, 后被福建漳州渔民误捕后安排释放, 但是释放后 5 天信号消失。由于该定位仪没有配置出水信息记录, 不能确定其是否出水, 但自释放后该海龟逗留在古雷半岛不曾游离近岸, 其触网可能性很大。	5
15	误捕龟, 未经人工饲养	12 天内海龟一直在东山近岸海域未游出, 消失时有数个高精度度的坐标数据显示其位于陆地上。大概率被重捕回当地。	12

除去以上 5 只海龟能给出清晰判定原因外, 仍有许多海龟的消失原因无法推测, 这些消失地点或近岸或外海 (表 2.8)。

表 2.8 其他海龟信号消失位置信息

Table 2.8 The disappearing location of other sea turtles

编号	距陆地距离 (km)	该陆地地点	追踪天数
2	10	台湾台中	55
4	185	广东汕头	53
5	1	台湾新北	149
7	18	菲律宾吕宋岛南部	85
8	240/13	距广东汕头 240 km, 距东沙岛 13 km	99
10	1	日本中之岛	291
11	10	福建漳州古雷半岛	7
13	80	福建漳州东山	242
14	40	海南儋州	103
16	150	浙江台州	170
17	130	广东深圳	24

2.4.6 渔业与海龟保护

渔业误捕一直是全球海龟种群最大的威胁。正确处理由于定置网、拖网和延绳钓等渔业作业产生的海龟死伤或流入市场的非法交易等问题, 是对保护国内海龟数量, 维护海龟生存环境最迫切的寻求。

从本研究结果来看, 海龟在我国的分布地域和活动范围非常广泛。海龟的迁移路径和热点觅食场与我国重要的渔场 (如舟山群岛渔场、闽南-台湾浅滩渔场、南海北部渔场和北部湾渔场) 重合度非常高, 因此海龟误捕不可避免。在不影响渔业捕捞的前提下, 减少对海龟种群的危害, 可以从以下三个方面入手:

第一，降低误捕率。这是许多国家都在致力研究的方向。渔具之所以会造成死亡，是因为一旦被长时间放置的定置网缠绕或被长距离拖行的拖网误捕，海龟会因无法浮出水面换气而溺死。现在已有的减少误捕的方针政策有很多，如减少一些定置网的设立区域与海龟觅食场重叠，并对渔具进行一定的改造（Gilman et al., 2006; Gilman and Lundin, 2010）。近些年比较流行的是美国和日本等国家所研发的海龟逃离装置，如 TEDs（Turtle excluder devices）、PEDs（Pound net escape devices）和 TRD（Turtle releasing device）。，这些装置在保证主要捕捞的目标渔获物不逃逸的情况下为海龟建立快速的逃生通道（Lewison, 2004; Ishihara et al., 2011; Tamura et al., 2014）。

第二，禁止误捕海龟流入非法贸易市场。这个方面需要国家加强市场监管。海龟作为具有经济价值的兼捕种类在市场上的流通量是非常大的，尤其是一些小型拖网作业方式，由于拖网时间短，误捕上来的海龟常常体征状况良好，其在水族市场和放生行业上的价格不菲。这些身体健康的海龟如能在误捕之后得到正确、快速的放归，会减少很多野生海龟的死亡。控制海龟买卖是切断这条利益链的重要手段。我国近期修订的新《野生动物保护法》中，将我国海域内所有海龟物种的保护等级提高至国家一级保护动物，这将带动我国各种相关保护政策的建立与实施。

第三，正确引导渔民开展误捕通报机制。组织渔民对海龟的误捕海域、种类、大小、误捕时间进行记录并通报。通过对误捕信息的整理，可进一步实施有针对性的保护政策，如开展合理的海龟放归和救助等。

第三章 中国绿海龟繁殖力与产卵场环境因子的研究

3.1 绪论

3.1.1 全球绿海龟产卵场的分布和现状

全球的绿海龟产卵场分布广泛，遍布太平洋、大西洋、印度洋的海岛和大陆，且比较集中于热带地区（Hirth, 1971）。在西太平洋范围内绿海龟产卵场包含：中国南部大陆海岸及各岛屿，菲律宾、马来西亚、越南、泰国和印度尼西亚等其他众多东南亚国家的大陆和岛屿（Moritz, 2002），以及日本南部群岛（Nishizawa, 2011）。

虽然绿海龟产卵场众多，但全球仍然面临着产卵场退化的严峻问题（McClenachan et al., 2006）。导致产卵场退化的因素有不少，但其根本原因就是人类活动对海龟造成的生存压力。海龟对自己的出生地的忠诚度非常高，当海龟的出生地的沙滩被破坏，海龟可能在产卵地选择上存在问题而导致其繁殖行为无法顺利完成（Lutcavage et al., 1997）。人类对海龟产卵沙滩的破坏方式有很多种，如在人类的生活区逐渐扩展下，填海造地、修建码头和修建防海潮设施等建造活动将自然沙滩彻底掩埋而直接性的摧毁产卵场；另外人为改变地形，也可能使海龟无法识别其出生地而难以顺利找到产卵点（Lutcavage et al., 1997）。由于海龟对产卵沙滩的环境要求比较高，对沙质和周围植被都有选择性，人为改造沙滩，破坏植被等对海龟也有很大的影响（Bustard, 1972; Mortimer, 1995）。

人类沿海繁荣城市彻夜长明的灯光会严重影响海龟寻找产卵点和辨别方向（Witherington and Martin, 2000）。在自然条件下海龟是可以靠月光在夜晚辨别方向的，而过亮的城市灯光和渔船灯光使得海龟在夜晚寻找产卵点受到干扰，尤其是绿海龟这种喜欢在夜间登陆产卵的物种，过亮的灯光会使其放弃产卵。另外新孵化的小海龟在爬出蛋穴后，也会通过海上反射的月光来找到海的方向，直奔大海，所以过亮的城市灯光掩盖了大海的亮度也会使得小海龟无法辨别海和陆地的方向，而迷失在沙滩上，甚至是向背离大海的方向爬行，直接断送了该片产卵场的新生海龟（Witherington & Martin, 2000）。新生海龟的数量减少，则返回该片产

卵的成年雌龟数量在今后十几年后就会相应减少,在长时间的恶性循环下导致产卵场退化。

另外,众多国家和地区,一直都有食用海龟蛋和海龟肉的习惯(Campbell, 2003)。虽然随着世界范围的海龟保护意识的提高和相关法律法规的建立,这种行为逐渐得到了控制,但菲律宾,马来西亚等东南亚国家以及印度洋的众多岛国依旧非常依赖食用海龟蛋。如果某个产卵场出生并性成熟的雌性个体,由于大量的人类捕杀或渔业误捕致死,尤其是在产卵场周围进行的渔业活动和专门在产卵季节对产卵雌龟的捕杀行为,则该产卵场的新增海龟蛋数也会越来越低最终导致该地雌海龟补充量不足,使得该片产卵场退化直至无法逆转。

3.1.2 国内绿海龟产卵场的分布和现状

绿海龟是唯一确定的、现今在我国境内拥有产卵场的海龟物种。根据文献记载,20世纪50年代之前,渔民经常在海南岛东南沿岸,广东的阳江至北部湾的沿岸,以及湛江硇洲岛等地有海龟产卵场(张晓蓉和梁玉麟,1993),甚至北至福建沿海也有渔民相传曾经有海龟产卵。近几十年,我国的海龟产卵场退化速度非常之快,沿海的绿海龟产卵场所剩无几,产卵规模萎缩严重。我国现存的海龟产卵场包括广东惠东(Chan et al., 2007)、香港南丫岛(Chan et al., 2007; Ng et al., 2014)、台湾几个离岛包括蓝屿、小琉球和澎湖列岛等(Chen and Cheng, 1995; Cheng et al., 2008, 2009)、南海诸岛例如西沙群岛,太平岛,东沙岛等(Anonymous, 1975; 黄祝坚和孙家骏, 1982; Cheng, 1997, 2007; Chan et al., 2007; Jia et al., 2019, in press)。

我国对海龟产卵场的破坏主要集中在对上岸雌龟的捕杀、盗蛋以及沿海地区城市化的快速发展等方面。20世纪80年代之前,主要是对捕杀上岸产卵雌龟和盗蛋。而20世纪80年代之后,随着沿海地区城市化的快速发展,对海龟产卵场的侵占现象愈发严重。广东惠东曾经有我国最大的绿海龟产卵场,但从数十年的监测结果可以看到该产卵规模呈极速下降趋势。20世纪80年代龟蛋窝的平均年数量为53窝(范围19~83窝/年),到90年代便下降至每年平均25窝(范围1~61窝/年),而进入21世纪后年均数量跌至20窝(范围0~53窝/年),2010年后,

年均量不到 5 窝（范围 0~10 窝/年）。香港南丫岛海龟产卵窝数的年数量自 1990 年后保持在非常低的水平（0~8 窝/年）（Chan et al., 2007; Ng et al., 2014）。根据台湾发表的文献记载，各岛屿的总年均蛋窝数约 50 窝（Chen and Cheng, 1995; Cheng et al., 2008, 2009; 2018 罗柳墀 等, 2016）。由于南海诸岛的特殊地理位置造成的不便，对各岛屿海龟产卵场的蛋窝数和产卵量等都没有系统的记录。

3.1.3 西沙群岛海龟产卵场

3.1.3.1 西沙群岛的背景

西沙群岛位于北纬 15°46'~17°08'，东经 111°11'~112°54'之间，属于热带地区。总陆地面积约 10 km²，总海岸线长度约 518 km，分为宣德群岛和永乐群岛两个部分。宣德群岛的主体礁区为宣德环礁，其核心岛洲为永兴岛和七连屿。目前永兴岛已经被建成城市化的居住区，人类活动频繁，没有合适的自然环境供海龟产卵。而七连屿仍较完好的保存着自然下的海岛环境，包括自然岸线和沙滩。由于受风向和海流的影响，七连屿的部分沙洲在性状和面积上变化很大，甚至消失。七连屿目前包括以下 8 个岛屿：西沙洲，赵述岛，北岛，中岛，南岛，北沙洲，中沙洲和南沙洲，其中赵述岛为行政中心所在地，而赵述岛和北岛都有村委会，有渔民常驻，其他岛洲无人居住。渔民在各礁盘进行日常渔业作业。在永乐群岛，其主体礁区为永乐环礁，由礁环和潟湖组成，环礁分为 7 个礁盘，发育有 12 个岛，1 个礁和 1 个沙洲，包括石屿-晋卿岛、琛航岛-广金岛、金银岛、甘泉岛、珊瑚岛、全富岛、鸭公岛、银屿-银屿仔、羚羊礁和筐仔沙洲，其中晋卿岛为行政中心所在地，而晋卿岛和甘泉岛都有村委会，琛航岛-广金岛和珊瑚岛为驻军岛，其他部分岛屿也逐渐开放，发展旅游业。渔民在各礁盘进行日常渔业作业。

3.1.3.2 西沙群岛的海龟产卵场

我国对西沙群岛海龟产卵场最早的描述可追溯至 1975 年（Anonymous, 1975），报道了永乐群岛金银岛、中建岛（15°47'03"N，111°12'12"E）有海龟上岸

产卵，琛航岛有海龟孵化，在宣德群岛赵述岛附近观察到了海龟交配。之后对西沙群岛的生态及生物资源调查，记载了西沙群岛海域生活有绿海龟、玳瑁、蠓龟和棱皮龟，并指出了当时过度的渔业捕捞，海龟捕杀和炸鱼挖珊瑚礁等现象，尤其是在海龟产卵旺季，会有数十艘渔船捕杀海龟，每条渔船每年可捕至上百头海龟。这些导致了西沙群岛上岸产卵的雌海龟，从过去的一晚上十几只的数量骤减到仅有个别岛有少量海龟上岸产卵。另外每年被挖取的海龟蛋也可至数千枚（欧阳统 等, 1992）。有文献称西沙群岛为蠓龟产卵场（黄祝坚和毛延年, 1984; Wang and Li, 2008）。其中 Wang and Li（2008）描述了西沙洲、赵述岛、北岛、中岛、南岛、北沙洲、中沙洲、南沙洲、永兴岛和东岛等共 10 个岛屿发现 40 余个海龟产卵蛋穴，其中永兴岛最多。

西沙群岛作为我国珍贵的绿海龟产卵场，是十分宝贵的资源。三沙市政府在近年来对海龟的保护做了很多工作，居住的岛民也承担了相当大的日常巡护和保护工作。由于海龟是对光非常敏感的动物，所以政府对岛上公共照明进行严格限制，尽量保证沙滩和近岸水域的昏暗程度。七连屿渔民会巡逻附近各岛屿，通过海龟上岸的爬行痕迹来精准判断海龟蛋穴的位置，并在其旁边插入写有编号和产卵日期的标志牌，统计全年海龟蛋窝的数量。并在这几年做到了持续的产卵蛋窝数量的跟踪监测，从 2016 年记录 152 窝（不完全记录），2017 年记录 172 窝，2018 年记录 122 窝。永乐群岛也随着行政中心的建立而逐步开展海龟产卵场的日常巡视和信息记录工作。另外在七连屿的北岛上刚刚建造了海龟保护中心，提供有不同大小的水池用来暂养救助的海龟。

3.1.4 海龟繁殖力及相关环境因子研究

海龟繁殖力是通过计算某一区域种群的新生海龟数量，评价海龟成功繁殖下一代的能力。在针对一个特定的产卵场时，我们可以根据当地的海龟繁殖能力来评估一个产卵场的规模，其主要方面有：上岸产卵的海龟数量、产生的海龟蛋窝数量、孵化率以及繁殖力等。另外产卵场的环境也是影响海龟繁殖能力的因素，例如孵化温度、蛋窝位置和气候变化等。

对产卵场进行长期监测（>10 年），是目前评估海龟种群丰度的手段中最简单方法（Chaloupka and Limpus, 2001）。很多国家在很早以前就开始了重要海

龟产卵场进行长期监测和研究,通过记录数十年来雌龟登陆数量、雌龟年产卵量、繁殖力和生态环境的变化,可以更清晰地了解该产卵场海龟种群数量的变化趋势,寻找雌海龟在产卵点选择的规律性,揭示气候变化对海龟产卵的影响,反应保护政策的实施效果,以及帮助完善产卵场的保护方针等(Balazs and Chaloupka, 2004; Bjorndal et al., 1999; Chaloupka, 2001; Fuentes et al., 2010)。

3.1.5 研究意义与目的

西沙群岛作为我国现阶段已知的最大的绿海龟产卵场 (Jia et al., 2019, in press), 一直以来缺少真正的生物学和生态学研究。通过收集基本的生物学和生态学数据, 建立西沙群岛绿海龟产卵场的长期数据库, 并由此进行综合性分析, 为今后的产卵场管理提供科学依据, 提出科学的管理方法和意见。另外确定西沙群岛的海龟繁殖力状况, 可补充全球绿海龟繁殖力数据, 为今后的物种濒危评估和相关国际保护政策提供可靠的数据基础。本研究于 2017 年和 2018 年连续 2 年对西沙群岛绿海龟产卵场进行监测, 与当地政府和渔民合作, 致力于完善产卵场的生物学数据的收集, 统计年海龟上岸产蛋数量, 研究西沙群岛绿海龟的繁殖力, 以及统计各项生态学数据, 如海龟产卵地理位置和周边环境、海龟产卵点的沙粒度、海龟蛋穴内的孵化温湿度等环境数据, 进而评估该产卵场的环境状况。本研究也是我国首次对西沙群岛产卵场进行较全面的生态研究。

3.2 材料与方法

3.2.1 实验材料

(1) 仪器 (表 3.1)

表 3.1 实验仪器信息

Table 3.1 Equipments information

仪器名称	型号	厂家
GPS	OREGON-550	美国 Garmin
温湿度记录仪	U23-001	美国 HOBO
筛分仪及标准筛	AS 200 Control	德国 Retsch
电热鼓风干燥箱	DHG-9030A	中国 精宏

(2) 其他材料与工具

野外作业用品：皮卷尺、游标卡尺、秤（量程 2 kg，精度 0.1 g）、小塑料铲、红色光源头灯等、样品袋、防水纸、记录用品。

3.2.2 研究区域与时间

按照渔民的往年记录，选择了绿海龟产卵高峰的 8 月-9 月，居住在西沙群岛对各岛进行调查。其中在宣德群岛七连屿的调查时间为 2017 年 8 月 15 日-9 月 17 日和 2018 年 8 月 17 日-9 月 4 日，在永乐群岛的调查时间为 2018 年 8 月 1 日-8 月 17 日。

本研究实际走访的岛屿有：宣德群岛中的永兴岛、赵述岛、西沙洲、北岛、中岛、南岛、北沙洲、中沙洲和南沙洲；永乐群岛中的晋卿岛和广金岛，其中琛航岛-广金岛是人工连接在一起的两个岛，琛航岛为驻军岛，沙滩大多被改造成水泥码头，广金岛保留较好的原生态。（表 3.2）

表 3.2 本研究中走访的各岛基本信息

Table 3.2 Information of visited islands

区域	岛名	位置	面积 (km ²)	周长 (km)
宣德群岛	西沙洲	16°58'38" N 112°12'43" E	0.26	2.1
	北岛	16°57'50" N 112°18'34" E	0.31	3.1
	中岛	16°57'18" N 112°19'26" E	0.11	1.4
	南岛	16°56'49" N 112°20'02" E	0.10	1.8
	北沙洲	16°56'17" N 112°20'29" E	0.01	0.6
	中沙洲	16°56'03" N 112°20'36" E	0.02	0.9
	南沙洲	16°55'47" N 112°20'44" E	0.04	1.1
	赵述岛	16°58'46" N 112°16'14" E	0.28	2.4
	永兴岛	16°50'05" N 112°20'17" E	2.66	7.5
永乐群岛	晋卿岛	16°27'48" N 111°44'29" E	0.22	2.1
	广金岛	16°27'05" N 111°42'06" E	0.14	1.7

(注: 周长和面积均通过 Google earth 上的卫星图像计算而得, 由于潮汐现象, 海岛实际露出水部分的面积和海岛周长变化很大, 本数据仅以卫星照片获得的时间的海岛实际情况为准。)

3.2.3 研究方法

3.2.3.1 巡岛方式

本研究期间的居住岛屿分别为宣德群岛七连屿的北岛和永乐群岛的晋卿岛。对于居住岛，每天早晚两个时段巡岛：晚上时段从 19 点开始巡逻，寻找上岸雌龟，每 1.5 小时巡逻一圈，直至次日凌晨，根据工作情况决定休止时间；早上时段仅巡逻一圈，为确定前一晚新增蛋窝的情况。由于海龟的光敏感性很高，对人类活动异常警惕，所以在夜间巡岛时关闭一切白光源，尽量不开任何光源或使用微弱的红光源，以减少对雌海龟的打扰，增加巡岛遇到海龟上岸的成功率。由于本着不能打扰海龟产卵的原则，我们仅对完成产卵后即将返回海洋的雌性海龟采集数据。

3.2.3.2 海龟蛋窝的确定

新生蛋窝需要根据海龟的爬行痕迹和挖坑痕迹确定海龟是否成功产卵以及真实下蛋点的位置。海龟在沙滩上爬行和挖掘会留下痕迹，我们把它分为三部分：蛋窝区，假坑和爬行痕迹（图 3.1）。从海龟留下痕迹的先后顺序来说是：上岸爬行痕迹-蛋窝区-假坑-离岸爬行痕迹，爬行痕迹分为上岸痕迹和离岸痕迹，从两个前肢留下的痕迹如箭头一样指向海龟爬行的方向，因此可以根据痕迹指向区分上岸和离岸，另外有时海龟在选择最终的下蛋点前可能会尝试挖掘 1-3 次，这样会在上岸爬行痕迹和真正的蛋窝区之间留下相应数量的假坑，但蛋窝区与离岸爬行轨迹之间必定有且只有一个凹陷的假坑，且该假坑一般很大，大小与其体型相适应，形状从圆形到长椭圆形不等，坑口直径略大于海龟的全长或臂展宽（前肢伸展开的宽度）。

蛋窝区即是被掩埋的海龟蛋的正上方，蛋窝区是最难找到的，需要回归到海龟产卵步骤上考虑，海龟上岸产卵时找好位置后，会先用前肢挖掘出一个可以把身体陷入的坑，然后向前继续爬将近“半个到一个身位”，用后肢对准前肢挖出的坑的位置继续想深处掏出沙土至 40-70cm 深左右后开始产卵，产卵结束后海龟用后肢先将洞穴掩埋平，然后向前移动“一个身位”，将身下的沙用前肢扬到身

后的蛋窝区,在完全掩盖好蛋窝区和产卵时留下的痕迹的同时在身下留下一个身位大小的假坑,随即完成产卵步骤,回到海水中。所以蛋窝区一般位于假坑沿爬行的反方向距离一个海龟身位除的位置,但是相比于非常小的蛋穴口,加之雌性海龟掩埋得非常完美,这个范围误差是非常大的,所以还需结合现场状况,包括周围植被的断裂,沙土的干湿度对比和沙土中是否混有新鲜植物根叶等来精确蛋窝位置。

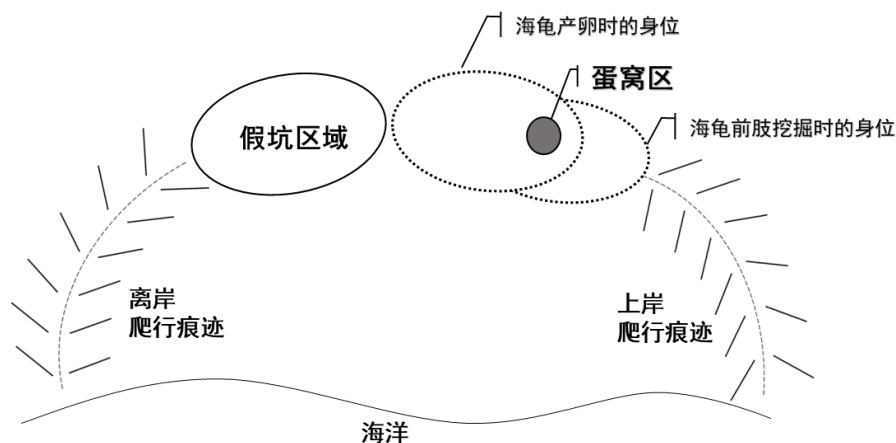


图 3.1 海龟产卵后遗留在沙滩的痕迹示意图

3.2.3.3 蛋窝的计数与定位

对蛋窝的确定有两个途径,一是非驻岛期间,蛋窝的真实性、时间和位置是以当地渔民的判断、记录以及插牌为准。二是驻岛期间,通过自行巡岛,在有经验的渔民帮助下分析海龟痕迹来确定真正的蛋窝。确定蛋窝点后需要记录的信息有:海龟产卵日期,蛋窝的坐标点,蛋窝的周围环境包括与高潮线和植被线的距离,以及完成记录后得出的各岛蛋窝数量及区域总数量。

根据 GPS 的定位信息用软件 Surfer 12 作图,确定各岛海龟蛋窝分布状况,计算海龟蛋窝单位距离内的密度:

岛蛋窝密度=本岛总蛋窝数/岛的高潮线周长

区域蛋窝密度=该区域内蛋窝数/该区域内高潮线长度

3.2.3.4 繁殖力的相关计算

海龟的蛋壳是软革质的，小海龟在破壳之后往往会留下比较完整蛋壳形态，且能够在沙中完整地保存很久不会腐坏。本研究采用挖取孵化后的蛋窝中的蛋壳，来计数每一窝的产蛋量等数据。西沙群岛的海龟的孵化时间约为 55 天左右，为确保海龟完全孵化，本研究选择孵化 65 天以上的蛋窝进行挖掘。挖掘过程中需将蛋坑内所有的蛋壳、蛋壳碎片、死蛋和未能爬出蛋坑的小海龟尸体全部挖出。

各参数计算方式：

(1) 每窝产蛋数 = (空蛋壳个数 + 死蛋数) / 窝 (注：根据蛋壳破碎程度还原出完整的蛋壳，还原后的完整蛋壳计为 1 个空蛋壳。)

(2) 孵化率 (%) = 空蛋壳数 / 产蛋数 * 100 = 空蛋壳数 / (空蛋壳个数 + 死蛋数) * 100

(3) 繁殖力 (又称：出坑率) (%) = (空蛋壳数 - 海龟尸体数) / (空蛋壳个数 + 死蛋数) * 100 (注：该处的海龟尸体为成功孵化出壳的海龟，死于蛋中未成功孵化的海龟不纳入计算，只能将其纳入“死蛋数”。)

(4) 平均产蛋数 = 总统计产蛋数 / 统计窝数

(5) 产卵场年总产蛋数 = 年窝数 * 平均产蛋数 / 窝

3.2.3.5 产卵海龟的信息记录

该部分数据来自于驻岛期间夜间巡岛时发现的上岸产卵的雌海龟。

从海龟上岸后至海龟开始排出受精卵期间是海龟敏感度最高的期间，人为活动会使得海龟放弃产卵返回大海，因此该期间不对海龟做任何数据采集。待海龟开始产卵后，可以接近海龟，对海龟进行背甲长，背甲宽的测量，打标签，记录海龟产卵数，以及向蛋窝放置温湿度记录仪。

3.2.3.6 蛋窝的温湿度记录

(1) 温湿度记录仪的设定

本研究使用的记录仪可测试温湿度，用 HOBOWare 软件设置，测试时间设为每 1 小时记录一次温湿度，并记录每日平均温湿度和温湿度极值。

(2) 放置记录仪

在没能目睹海龟上岸产卵的情况下，则无法将记录仪埋入海龟蛋中。所以只能事后通过观察找到蛋穴位置，贴着蛋穴侧壁挖一个距离地表向下 30-35cm 的坑，将栓有尼龙渔线的温湿度记录仪至于底部，掩埋好土之后，将渔线系在该蛋窝的编号牌根部。

在蛋窝的选择上，尽量挑选隔天或近几天产的蛋窝，这样可以记录比较完整的孵化过程温度变化，而且在海龟产卵痕迹保留完整的情况下更能方便快速的找到蛋穴位置，减少对孵化的影响。

(3) 记录仪的挖取

由于西沙群岛海龟孵化时间约为 55 天，为确保孵化完毕，选择在 65 天后将记录仪取出。可沿着系在编号牌上的尼龙线找到记录仪。

(4) 数据读取

将回收的记录仪与电脑连接，用 HOBOWare 软件读取数据和曲线图，并对温湿度进行分别分析。

3.2.3.7 蛋穴沙粒度分析

该沙粒度的取样均来自 2018 年度的调查航次。样品的取样来源有以下几种：

(1) 蛋穴内沙

进行海龟繁殖力调查时，直接采集真实蛋穴内和蛋穴壁的沙样品，取 500 g 左右带回；

(2) 蛋穴附近沙

对未孵化的蛋穴，在贴近真实蛋穴区域的垂直方向，向下挖至大约 60 cm 深后（接近平均海龟蛋穴深度）取得 500 g 左右的沙样；

(3) 其他取沙点

为探讨沙粒度和海龟并选择某片沙滩的潜在原因,在没有海龟产卵的沙滩采集沙样品。挖掘深度一般在 30~60 cm 左右(因为本类取沙点大多挖掘难度大或沙层比较浅,所以取沙深度根据实际情况而调整),取 500 g 左右的沙样。

样品处理与分析:

取回的沙样需置于鼓风干燥箱中 48 小时,使沙子完全干燥。按照乌登-温特沃斯的沉积物粒径分类方法选取 6 个标准筛和一个底托盘,以 1.5 mm 振幅筛 6 分钟,得到 7 组粒径不同的样品(表 3.3),分别取出每一个筛网和底盘中的沙进行称量,记录质量,最终计算质量比。

根据各采样点的不同粒径的沙的质量比例,得出不同沙样的粒径组成,分析各蛋窝之间沙粒组成的规律或区别,以及确定不同岛屿之间沙粒组成的区别,进而寻找海龟在沙滩选择上的内在规律。

表 3.3 粒径筛分标准

Table 3.3 Classes of sand particle

组别	粒径 (mm)
1	>2
2	1~2
3	0.5 ~1
4	0.25 ~ 0.5
5	0.125 ~0.25
6	0.063 ~ 0.125
7	< 0.063

3.3 结果

3.3.1 产卵季节

从七连屿工委 2016、2017 和 2018 年的海龟记录数据来看，产卵现象持续时间 2017 年为 3 月至 12 月，2018 年为 1 月至 12 月（全年）（表 3.4）。其中 2016 年的数据是不完全记录，2017 和 2018 两年数据完整。

从七连屿的 2017 和 2018 全年的蛋窝产生时间来看，各月份海龟产卵情况如表 3.5 所示，产卵高峰期均在 7 月和 8 月。另外永乐群岛的晋卿岛统计到的 9 窝，分别为 7 月 4 窝，8 月 5 窝。

表 3.4 西沙群岛 3 个年度海龟产卵数量记录情况

Table 3.4 Nests record in 3 years in Xisha Islands

年份	总数量	产卵起止时间
2016	152	无记录
2017	172	2017.03.18~12.31
2018	122	2018/01/21~12.31

表 3.5 七连屿各月份海龟产卵情况

Table 3.5 Monthly nesting in Qilianyu

单位：窝

日期	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11~12月
2017	0	0	2	2	5	14	<u>45</u>	<u>44</u>	约 <u>35</u>	约 15	约 10
2018	2	5	6	7	15	7	<u>19</u>	<u>20</u>	约 15	约 10	约 10

3.3.2 产卵场的蛋窝分布

3.3.2.1 蛋窝数量

2017年，宣德群岛的七连屿各岛共记录到130窝；2018年，宣德群岛的七连屿各岛共记录81窝，永乐群岛仅有晋卿岛的9窝（表3.6）。永乐区域的广金岛由于为驻军岛，不方便长期实地观测，在批准寻岛的过程中有发现多处海龟假坑痕迹，但从周边环境来看不是新产生的痕迹，因此没有算入年度总数量。

表 3.6 各岛海龟蛋窝的数量统计

Table 3.6 Nests amount of different islands

地点	2017 数量 (2017.01.01~09.17)	2018 数量 (2018.01.01~2018.09.04)
北岛	71	43
中岛	12	0
南岛	34	15
西沙洲	0	3
北沙洲	0	3
中沙洲	4	8
南沙洲	9	9
赵述岛	0	0
永兴岛	0	0
宣德群岛小计	130	81
晋卿岛		9
广金岛		无法确定是否为当年新窝
永乐群岛小计		9
合计	130	90

3.3.2.2 蛋窝定位

(1) 北岛

北岛蛋窝点最密集的地方是西岸和北岸西侧，2017 年的调研中共在北岛定位了 57 处，其中西北角处的沙滩蛋窝最为密集（约 40 个蛋窝），密度可达 63.9 个/公里（图 3.2 A）。2018 年的调研中共定位了 27 处，总量减少 50%，西北角处和北部一段海滩稍显集中（图 3.2 B）。

北岛拥有柔软细密的沙质和良好的灌木丛遮蔽，是理想的海龟产卵场。

北岛 2/3 的海岸线沙滩环境非常好，但其北部海滩从中间向东侧的地方开始覆盖大块珊瑚石，且夜间退潮后会露出大片礁盘，海龟不易爬上岸，因此蛋窝点稀少；北岛东南角的位置为北岛码头所在地，没有适合海龟产卵的沙滩，所以没有蛋窝。

植被覆盖面积大，除人工种植的树木外，植被大多是高度在 1~2 m 左右的灌木（海桐），植被边缘距高潮线 2~10 m 不等。

北岛上刚孵化的小海龟面临的主要天敌是痕掌沙蟹（*Ocypode stimpsoni*）（图 3.3），爬行速度极快。沙蟹会夹死夹伤刚爬出洞穴的小海龟，甚至会通过打洞找到蛋坑，吃掉正在向外爬的小海龟。

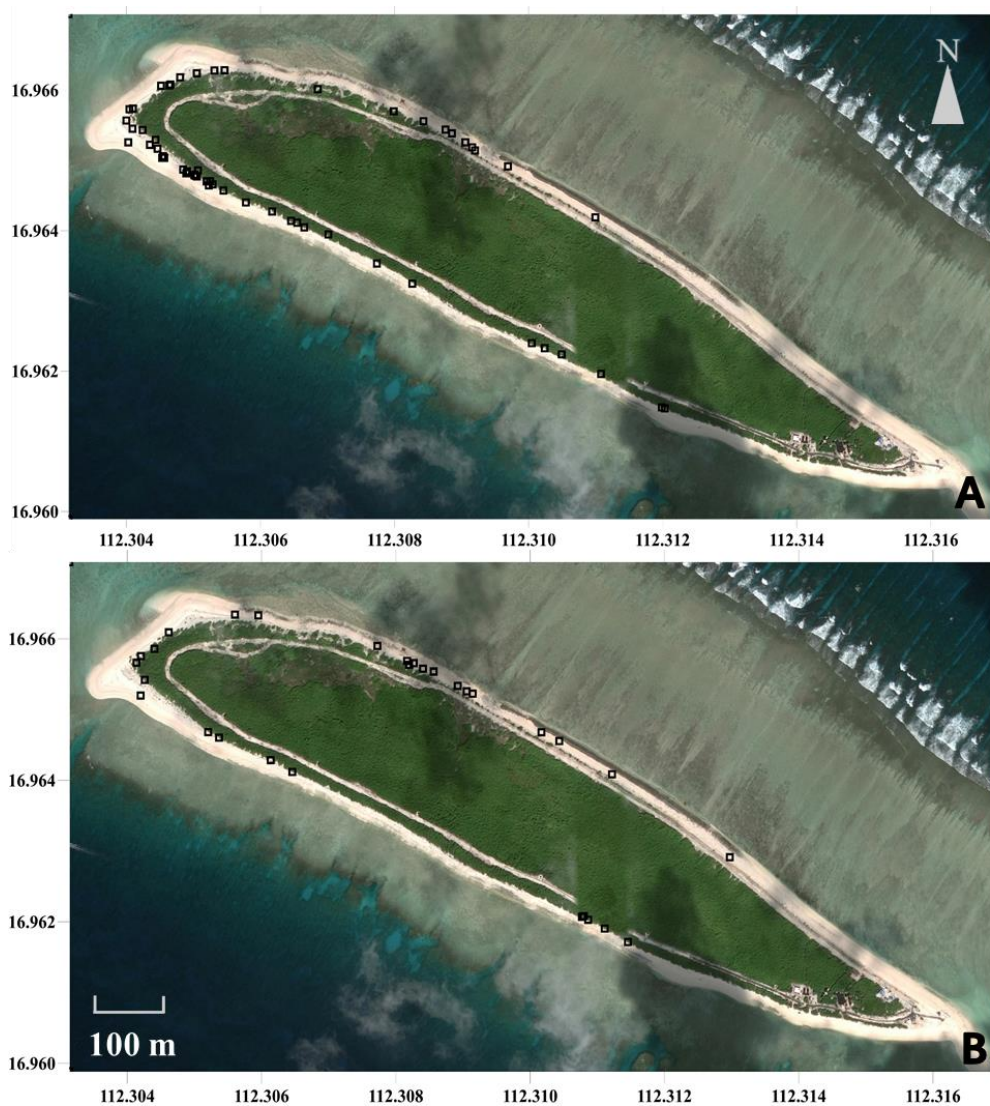


图 3.2 北岛 2017 年 (A) 和 2018 年 (B) 蛋窝分布

Figure 3.2 Nests distribution in North Island in 2017(A) and 2018(B)



图 3.3 痕掌沙蟹——刚孵出小海龟的天敌

Figure 3.3 The predator of hatchings (*Ocypode stimpsoni*)

(2) 中岛

在 2017 年的调查中，中岛有 12 个蛋窝的记录，且成功定位 7 个，分别位于中岛西北角和东南角两端（图 3.4）。2018 年中并没有海龟产卵。

中岛的地质状况不利于海龟产卵，北部的大部分海岸有高立的礁石，使海龟无法攀爬；而整个南部半圈的海岸质地为大块的珊瑚石碎砾，且受强海浪作用，被紧密的压实，使海龟很难挖掘蛋坑进行产卵。仅在西北角和东北面短距离的沙滩，沙质细腻，适合海龟产卵。2017 年的调查发现，但由于中岛有限的良好沙滩以及地形的限制，有几窝的海龟蛋窝的位置处于地形低洼处，且贴近高潮线，涨潮时就被海水浸泡甚至淹没，后发现该处蛋窝中有大量死蛋，孵化率极低。



图 3.4 中岛 2017 年蛋窝分布

Figure 3.4 Nests distribution in Middle Island in 2017

(3) 南岛

2017 年共定位 20 窝，其中南侧有较密集的产卵区，聚集有 10 个窝点（图 3.5A）。

2018 年共定位 7 窝，分布区域从整体空间上看与 2017 年非常一致（图 3.5B）。

南岛大体上为沙质海岸，植被覆盖良好，比较适合海龟产卵，在七连屿范围内，在地理环境上包括植被覆盖，沙滩地形等最像北岛的岛屿，也是在北岛之后，产卵点最多的岛屿，但其蛋窝数量与北岛相比还是相差甚远。南岛的西南侧海岸有一段高耸的礁石区，海龟无法攀爬，该段约占南岛总海岸线的 1/6。



图 3.5 南岛 2017 年 (A) 和 2018 年 (B) 蛋窝分布

Figure 3.5 Nests distribution in South Island in 2017(A) and 2018(B)

(4) 西沙洲

在 2017 年的调研期之前，并没有海龟在西沙洲产卵，因此没有取得定位。

2018 年在西沙洲共有 3 窝，均成功定位，其时间分别为 4 月 30 日，8 月 13 日和 8 月 22 日（图 3.6）。第一窝与后两窝时间差距很大，不可能是同一只海龟；单从后两窝时间差距上看，有一定可能是同一只，但实际情况不明。

西沙洲沙质良好，周围没有大片礁石，且海草床非常茂盛。但西沙洲原本植被覆盖率不高，自然植被仅在西北部一块小区域，但自 2017 年政府开始逐步在西沙洲上人工移植植被，2018 年调研时西沙洲植被覆盖率很高，蛋窝所在区域即为人工移植的针叶林和灌木林区。



图 3.6 西沙洲 2018 年蛋窝分布

Figure 3.6 Nests distribution in West Shoal in 2018

(5) 北沙洲

2017 年中并没有海龟产卵。。

2018 年在调研期间定位到北沙洲 9 月份前全部的 3 窝，时间分别为 5 月 28 日、7 月 26 日和 8 月 17 日（图 3.7）。

北沙洲是七连屿中面积最小的岛屿，拥有良好的细沙滩，周围没有阻挡海龟上岸的礁石区，但是植被非常稀疏且矮小，高度为 50 cm 左右，涨潮时会被淹没的 1/3 的沙滩面积，而且在不同年份，在风向与海流方向的变化下，北沙洲覆

盖的细沙会被海水带回或带走，所以沙洲面积变化很大。

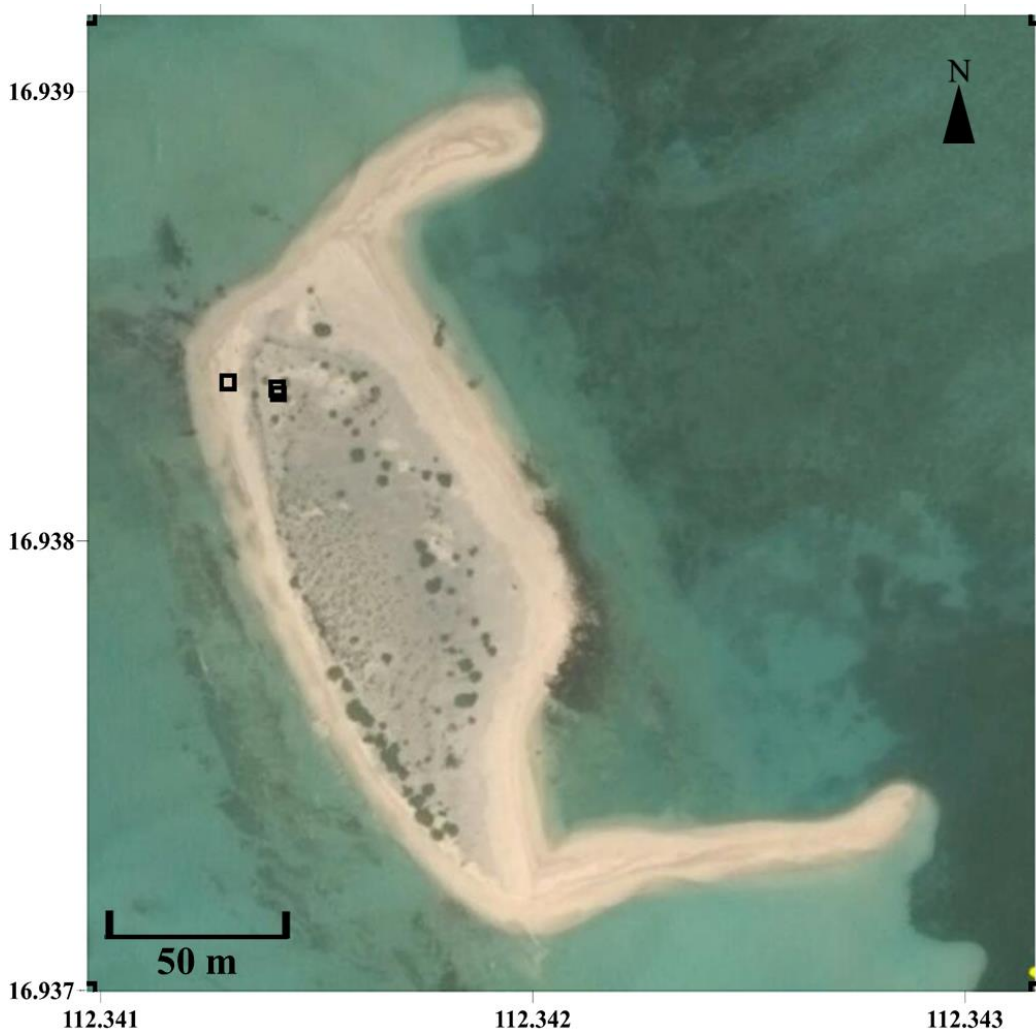


图 3.7 北沙洲 2018 年蛋窝分布

Figure 3.7 Nests distribution in North Shoal in 2018

(6) 中沙洲

2017 年共定位 3 窝，分别位于南北两侧海岸，其中北侧蛋窝距植被较远，南侧蛋窝在矮灌木丛中（图 3.8 A）。

2018 年共定位 6 窝，空间分布上于 2017 年很相似。从两年的分布状况来看，中沙洲南侧区域的灌木丛是比较热点的区域（图 3.8 B）。

中沙洲拥有良好的细沙滩，周围没有阻挡海龟上岸的礁石区，但是植被非常稀疏且矮小，高度为 50cm 左右。中沙洲栖息着大量的燕鸥，是刚孵化的小海龟的天敌。

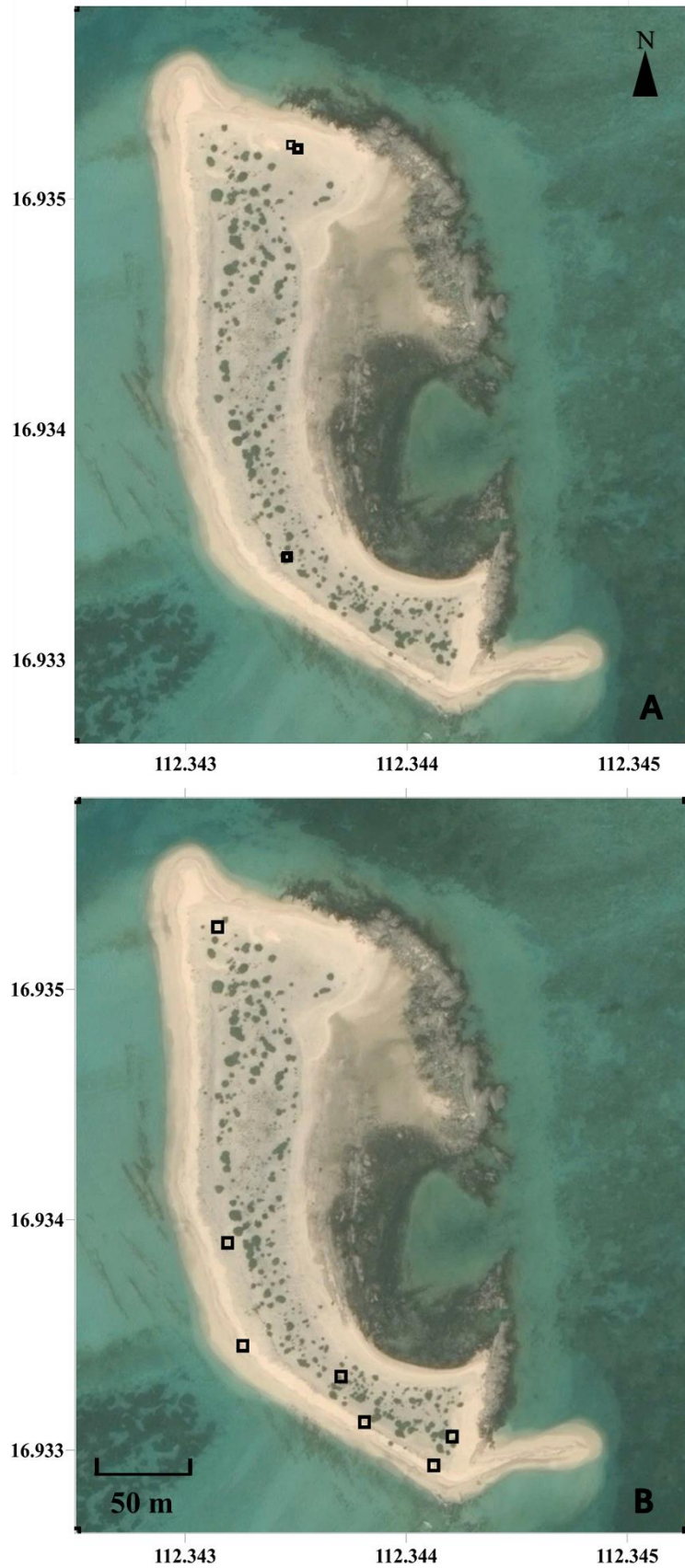


图 3.8 中沙洲 2017 年 (A) 和 2018 年 (B) 蛋窝分布

Figure 3.8 Nests distribution in Middle Shoal in 2017(A) and 2018(B)

(7) 南沙洲

2017 年共定位到 6 窝，其中 4 窝分布在西北角处，另外两窝靠东侧；除一窝以外其余均贴近植被（图 3.9A）。

2018 年共定位到 7 窝（图 3.9B）。

从 2 年的数据来看，南沙洲西北角处是比较适宜产卵的地点。南沙洲的沙滩情况也比较良好，且植被相对中沙洲要密且高，同时也栖息着大量的燕鸥，会捕食刚孵化爬向大海的小海龟。

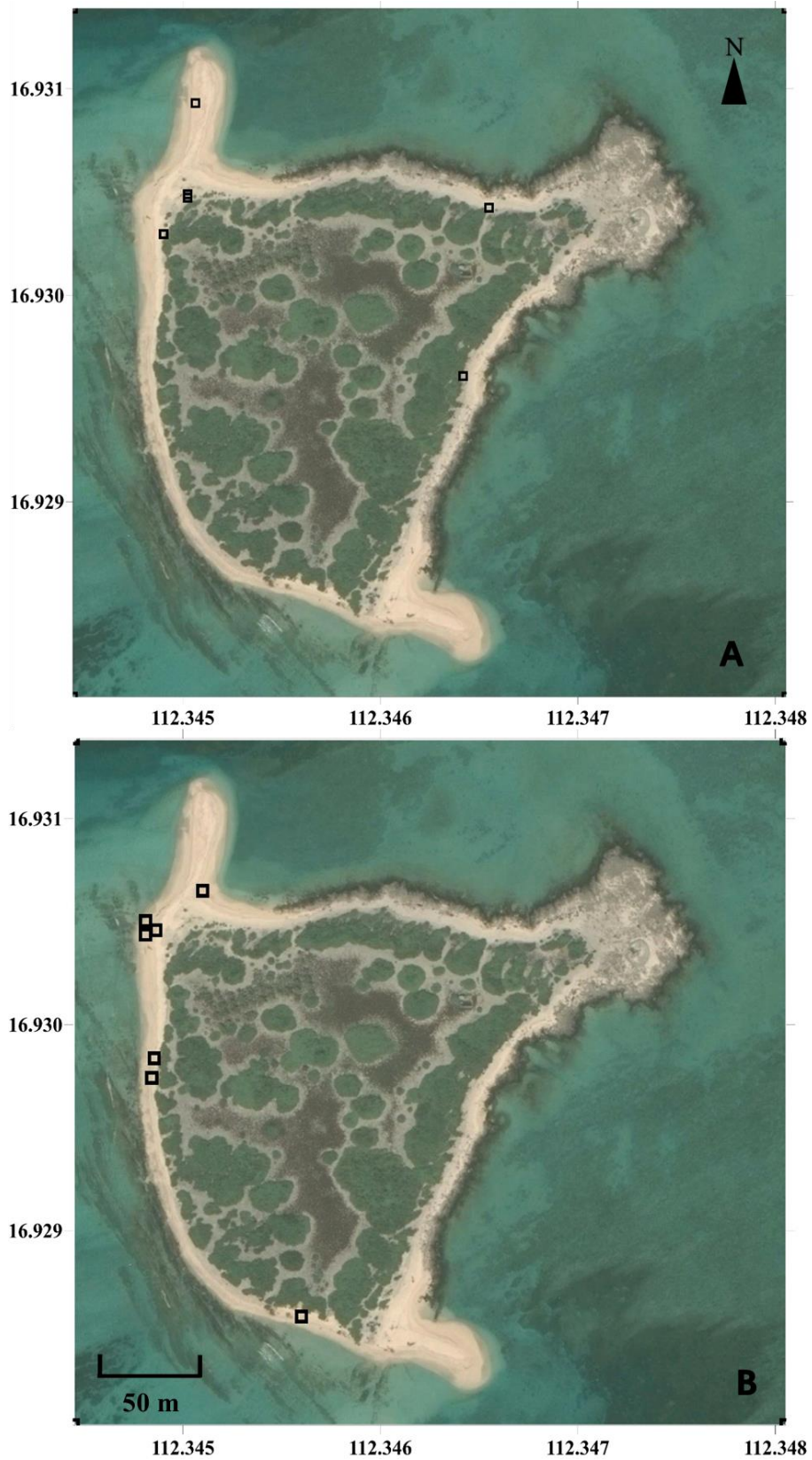


图 3.9 南沙洲 2017 年 (A) 和 2018 年 (B) 蛋窝分布

Figure 3.9 Nests distribution in South Shoal in 2017(A) and 2018(B)

(8) 晋卿岛

2018 年共定位了 9 个蛋窝，但这些蛋窝的位置大多离高潮线非常近，这使海龟蛋被海水浸泡的可能性加大、浸泡时间加长（图 3.10）。

晋卿岛适合海龟产卵的海岸线并不多，仅有如图中有蛋窝分布的西部及西南部，约占总海岸线的 1/5。该处沙滩细腻，无大片礁石阻挡海龟上岸。其他南部到东部海岸线被有大片礁石，海龟无法攀爬上岸；岛屿北部为码头，也不适于海龟产卵。另外晋卿岛的沙滩的宽度不够，植被区边缘紧贴高潮线，或者是高潮线以上是较高的沙丘，阻碍海龟继续向前爬行寻找离潮水较远的沙地。



图 3.10 晋卿岛 2018 年蛋窝分布

Figure 3.10 Nests distribution in Jinqing Island in 2018

(9) 广金岛

通过巡岛发现,广金岛上有很多海龟的假坑痕迹,但从周边痕迹和环境来看,几乎都为至少1年以上的旧坑。所以本次调研仅将旧坑进行定位,来看其分布状况(图3.11),并没有纳入当年蛋窝总数。

广金岛总体上沙滩表面为粒径较大的碎珊瑚石,但并不妨碍海龟挖掘,另外植被覆盖率可观,植被高度可达2米,高潮线距植被边缘有一段距离,从自然环境上看比较符合海龟产卵需求。但广金岛与琛航岛相连,为驻军岛,夜间照明灯强烈,不适宜海龟产卵。

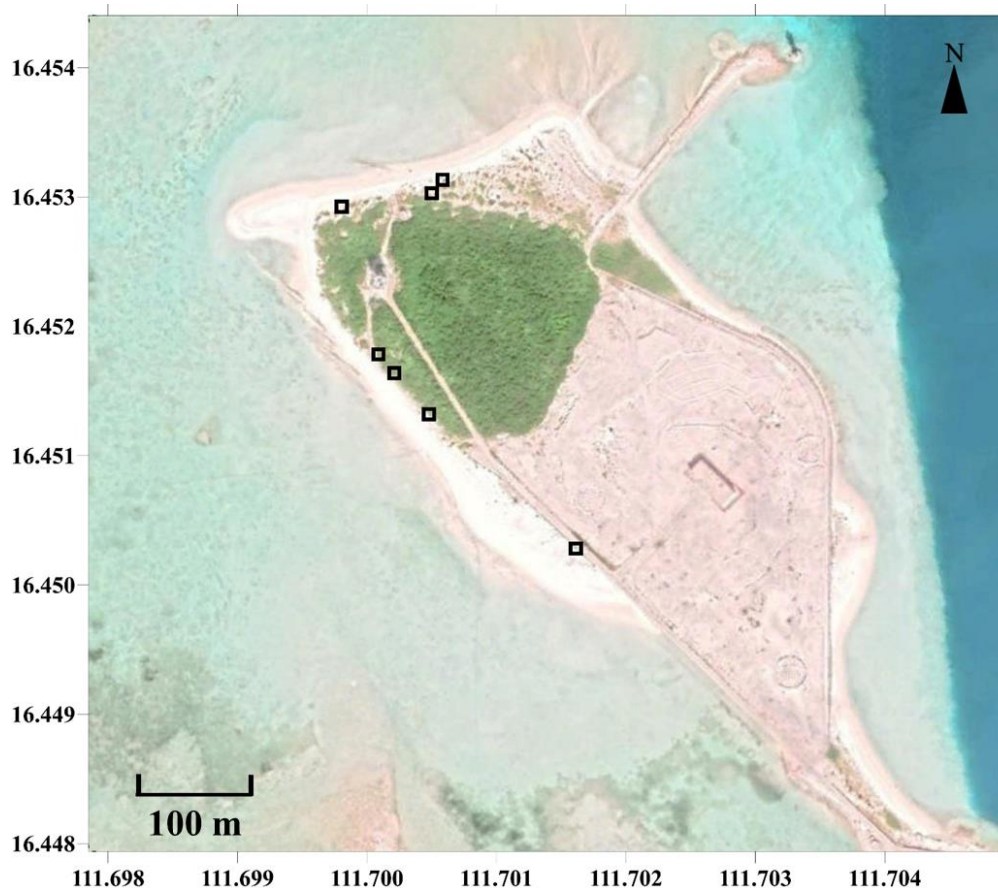


图 3.11: 广金岛往年海龟假坑分布图

Figure 3.11 Nests distribution in Guangjin Island in 2018

3.3.3 各岛屿海龟繁殖力

以下是 2017 和 2018 两年针对已孵化蛋窝的调查数据，2017 年收集到 15 窝数据，2018 年收集到 6 窝数据（表 3.7）。

由于 2017 年海龟蛋窝数多，取得的数据量大，代表性高；另外采集的蛋窝中，有部分蛋窝是位于高潮线附近会被海水灌入的位置（如 2017 年的 3、9、10 号蛋窝），孵化率和繁殖力极低，而 2018 年取得的蛋窝点都是比较良好的孵化点，死蛋量很少，这使得 2017 年的平均孵化率和繁殖力远低于 2018 年。

表 3.7 2017-2018 西沙群岛绿海龟蛋窝繁殖生物学数据

Table 3.7 2017-2018 Reproductive data of green turtle in Xisha Islands

2017 年孵化率及繁殖力							
位置	序号	空蛋壳数	死蛋数	蛋数/窝	死龟数	孵化率 (%)	繁殖力 (%)
北岛	1	57	9	66	0	86.4	86.4
	2	75	13	88	0	85.2	85.2
	3	53	78	131	0	40.5	40.5
	4	94	0	94	3	100	96.8
	5	92	11	103	3	89.3	86.4
中岛	6	88	9	97	4	90.7	86.6
	7	66	14	80	0	82.5	82.5
	8	88	9	97	1	90.7	89.7
	9	43	63	106	0	40.6	40.6
	10	31	68	99	2	31.3	29.3
南岛	11	62	14	76	0	81.6	81.6
	12	55	18	73	1	75.3	74.0
	13	39	19	58	0	67.2	67.2
中沙洲	14	107	2	109	0	98.2	98.2

南沙洲	15	9	52	61	0	14.8	14.8
平均数				91 ±20		71.6±26.7	70.6±26.1
2018年孵化率及繁殖力							
位置	序号	空蛋壳数	死蛋数	蛋数/窝	死龟数	孵化率(%)	出坑率(%)
北岛	1	79	1	80	0	98.8	98.8
	2	92	5	97	3	94.8	91.8
	3	67	2	69	0	97.1	97.1
	4	86	6	92	0	93.5	93.5
	5	64	2	66	1	97.0	92.4
南岛	6	84	5	89	0	94.4	94.4
平均数				82.2±13		95.9±2.0	94.7±2.5
总平均数				87.2±17.9		78.6±24.4	77.5±24.8

3.3.4 西沙群岛海龟年繁殖力估算

根据对七连屿两年海龟孵化数据的整合和计算, 利用每窝含蛋量的总平均数 87.2 个/窝和总平均繁殖力 (77.5%), 估算出 2016-2018 年总稚龟补充量分别为 10272.2 只、11623.8 只和 8244.8 只 (注: 2016 年总蛋窝数为不完全统计)。

表 3.8 西沙群岛海龟年繁殖力

Table 3.8 Green turtles productivity in Xisha Islands

年份	总蛋窝数	平均蛋数/窝	总产蛋量	平均繁殖力	总稚龟补充量
2016	152	87.2	13254.4	77.5%	10272.2
2017	172		14998.4		11623.8
2018	122		10638.4		8244.8

3.3.5 产卵雌龟记录

于 2017 年 8 月成功测量到北岛上 4 只海龟的体长数据并成功为一只打上钢签（见表 3.9），其中的海龟 3 号，曾三次在北岛产卵（因背甲上的藤壶位置而被特别注意），第一次被发现时间为 8 月 14 日，第二次为 8 月 26 日，第三次为 8 月 27 日。26 日晚海龟仅下了 12 枚左右的蛋后，便开始掩埋蛋穴回到海中，并与 27 日凌晨再次回到北岛沙滩，被第三次观测到产卵。

海龟的上岸产卵时间多为晚上 9 点~凌晨 3 点之间

表 3.9 产卵雌龟的体型数据

Table 3.9 Size of nesting green turtles

序号	背甲长 (cm)	背甲宽 (cm)	钢签号
1	91	68.5	
2	103	93	
3	97.5	86.5	
4	101	94	072

3.3.6 蛋穴温湿度

本次研究是对西沙群岛蛋穴温湿度的测量进行初步尝试，总共成功放置了 5 个 HOBO，其中永乐群岛的晋卿岛有 3 个，宣德群岛的北岛有 2 个（表 3.10、图 3.12）。湿度的测量值均为 100%。

本次调研的 HOBO 埋入深度约在蛋穴的中间位置，从曲线上可以看出：

- a. 日平均温度均大于 29 °C，最高可达 32 °C；
- b. 整体温度波动状况随日期变化表现一致；
- c. JQ 1 的温度比同岛同时间不同产点的其他蛋穴要高出 1 °C 左右，经过信息核实，该蛋窝距高潮线较远，不会被海水侵入；
- d. NI 1 在 9 月 20 日之后的波动与其他蛋穴的波动不一样，无法确定在这个

时间段里是否受到过人为的对蛋穴的干扰:

e. JQ2 和 JQ3 在 9 月 7 日前的日平均温度一致且比较低, 在 30.5°C 以下, 但 9 月 7 日后 JQ2 大幅度高于 JQ3。

表 3.10 HOBO 放置时间表与蛋窝信息

Table 3.10 Information of the nests deployed with HOBO

编号	产卵日期	预计孵化期	HOBO 放置期	取出时间
JQ1	20180724	20180917	20180807-16 时	20181022
JQ2	20180812 凌晨	20181006	20180812-17 时	
JQ3	20180731	20180924	20180807-16 时	
NI1	20180828 凌晨	20181022	20180828-18 时	20181020
NI2	20180828 凌晨	20181022	20180828-18 时	

JQ: 晋卿岛; NI: 北岛

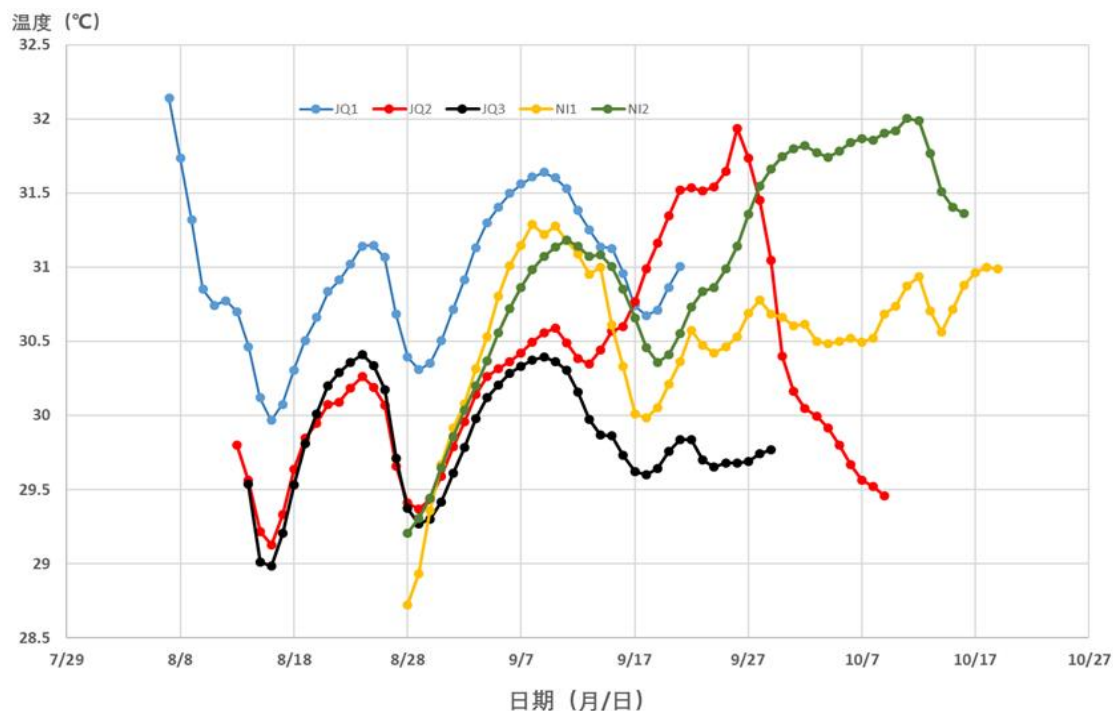


图 3.12 HOBO 记录仪监测的晋卿岛 3 窝和北岛 2 窝日平均孵化温度
Figure 3.12 Daily mean incubation temperature in Jinqing Island(n=3) and North Island(n=2)

3.3.7 沙粒度分析

共采集 34 份沙样品，其中北岛 10 份、中岛 2 份、南岛 4 份、西沙洲 3 份、北沙洲 2 份、中沙洲 5 份、南沙洲 3 份、晋卿岛 3 份、广金岛 2 份。中岛的沙滩，2018 年采样时没有海龟产卵，因此采了一个往年有海龟产卵的细沙滩地带的沙样和一个无法产卵的粗砾沙滩地带的沙样进行粒度对比。另外广金岛也在 2018 年无海龟产卵，其样品取自旧假坑区域（表 3.11）。

北岛作为产卵量最大的岛屿，其蛋穴沙粒径主要分布在 1~0.25 mm 区段（65.4%）。晋卿岛蛋穴沙粒径和西沙洲蛋穴沙粒径也主要分布在 1~0.25 mm 区段，比例分别高达 71.1%和 74.8%。

南岛、北沙洲、中沙洲和南沙洲在沙质上比较一致，都是集中在>2 mm、2~1 mm 和 1~0.5 mm 三个区段上，且比较平均。与沙质较细的北岛、西沙洲和晋卿岛相比，在 1~0.25 mm 区段上，南岛、北沙洲和中沙洲分别有 48.9%、46.3%和 50.5%，南沙洲的沙质则更粗一些，比例仅为 33.3%。

中岛在 2018 年无海龟上岸产卵。中岛的细沙滩部分 2017 年被海龟选择作为产卵点，其粒径分布主要在 1~0.25 mm（84.1%），与北岛、晋卿岛和西沙洲蛋穴沙粒径相似。中岛 90%的海岸线由粗大的珊瑚石覆盖，无海龟上岸产卵，其沙样（中岛-粗砾）显示>2 mm 的区段比例为 96.1%，与其细沙滩区和其他岛屿形成鲜明对比。

广金岛假坑处沙样的主要粒径区段为 2~1 mm（62.4%），与其他岛相比，在 1~0.25 mm 区段上仅有 24.5%。

表 3.11 各岛沙样的平均粒径分布

Table 3.11 Ratio of different sand partical classes

粒径 mm 地点	>2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.125	0.125~0.063	< 0.063
北岛	16.2%	17%	<u>38%</u>	<u>27.4%</u>	1.3%	<0.1%	<0.1%
中岛 (细沙)	3.7%	4.5%	<u>24.6%</u>	<u>59.5%</u>	7.5%	<0.1%	<0.1%
中岛 (粗砾)	<u>96.1%</u>	2.6%	0.5%	0.7%			
南岛	<u>28.9%</u>	<u>21.3%</u>	<u>32.9%</u>	16%	0.8%	<0.1%	<0.1%
西沙洲	7.1%	17.9%	<u>57.4%</u>	17.4%	0.2%	<0.1%	<0.1%
北沙洲	<u>27.9%</u>	<u>25.3%</u>	<u>27.1%</u>	18.2%	1.5%	<0.1%	<0.1%
中沙洲	<u>21.3%</u>	<u>26.2%</u>	<u>34.4%</u>	16.1%	1.8%	<0.1%	<0.1%
南沙洲	<u>37.4%</u>	<u>23.3%</u>	<u>25.7%</u>	7.5%	6.1%	<0.1%	<0.1%
晋卿岛	6.8%	16.6%	<u>38.7%</u>	<u>32.4%</u>	5.4%	<0.1%	<0.1%
广金岛	12.2%	<u>62.4%</u>	18.9%	5.6%	0.8%	<0.1%	<0.1%

3.4 讨论

从走访的 11 个岛屿中, 有 8 个岛包括宣德群岛七连屿的 7 个岛屿: 北岛、中岛、南岛、西沙洲、北沙洲、中沙洲、南沙洲和永乐群岛的晋卿岛, 是现今绿海龟登陆繁殖比较活跃的岛屿。七连屿的 7 个岛屿是绿海龟产卵最集中的区域, 其中北岛为产卵量最大的岛, 从 2017 和 2018 两年的统计数据来看, 北岛海龟数量可达整个西沙群岛统计数量的 50% 左右。然而北岛是这些岛屿中唯一一个有人居住的岛屿, 所以在人类生活和海龟产卵场共存的工作上, 北岛是一个重要实施地点。另外, 七连屿两年的蛋窝数量虽然差距很大, 但总体的产点分布位置是比较一致, 可以清晰的看出各岛的适合海龟产卵的区段, 另外产点的选择上比较偏向有植被遮阴的沙滩。通过对七连屿两个年度的对比发现, 虽然蛋窝总数量上有所减少, 但蛋窝在各岛分布地点比较一致, 各岛适合海龟产卵的区段比较明确。另外中岛、北沙洲和西沙洲三个岛屿产卵状况较不稳定, 其中中岛的主要原因在于适合海龟上岸的区段非常有限, 沙滩多大块珊瑚石覆盖, 岸边多礁石; 北沙洲则是岛屿面积小, 且不够稳定, 2017 年间几乎被海水淹没; 西沙洲在 2017 年前植被覆盖率低, 在引入人工植被后是否会增加海龟上岸情况仍需要长期监测 (图 3.13 & 图 3.14)。

由于永乐群岛的当年产卵数据仅来自于晋卿岛, 据当地渔民介绍, 甘泉岛的年产卵窝数是永乐群岛内数量最多的, 但由于本次调研受天气影响未能成功靠岸甘泉岛, 而缺少其真实数据, 再加之往年文献记载金银岛和中建岛也有海龟产卵情况, 永乐群岛仍存在本研究未能获得真实数据的海龟产卵岛屿, 因此永乐群岛实际的绿海龟的年产卵状况不仅仅是 2018 年的 9 窝。另外在走访的广金岛-琛航岛中, 核实了广金岛近年来确实有海龟产卵的状况, 但在调研期间未发现新的产卵痕迹, 只有假坑痕迹, 无法判断其产生日期。这说明广金岛的现今上岸的海龟非常少, 加之琛航岛的地理环境被实施了高度的人为改造, 人类活动频繁, 无法确定与之相连的广金岛今后海龟上岸产卵的情况。

虽然西沙群岛现今的产卵量比较可观, 但随着人类生活领域的扩张带来的对自然环境的改造, 以及绿海龟整个种群可繁殖雌龟的数量的下降, 产卵场退化是逐步进行的。从七连屿 2016-2018 年的总产蛋窝数来看, 虽然数量有一定波动,

尤其是 2018 年的 122 窝比 2017 年总量少了 30%，但由于海龟的产卵是有 2-4 年的隔年，所以在短年限中数量有一定的波动是正常情况，对于产卵场退化速度的结论，仍需多年观测数据才能说明。

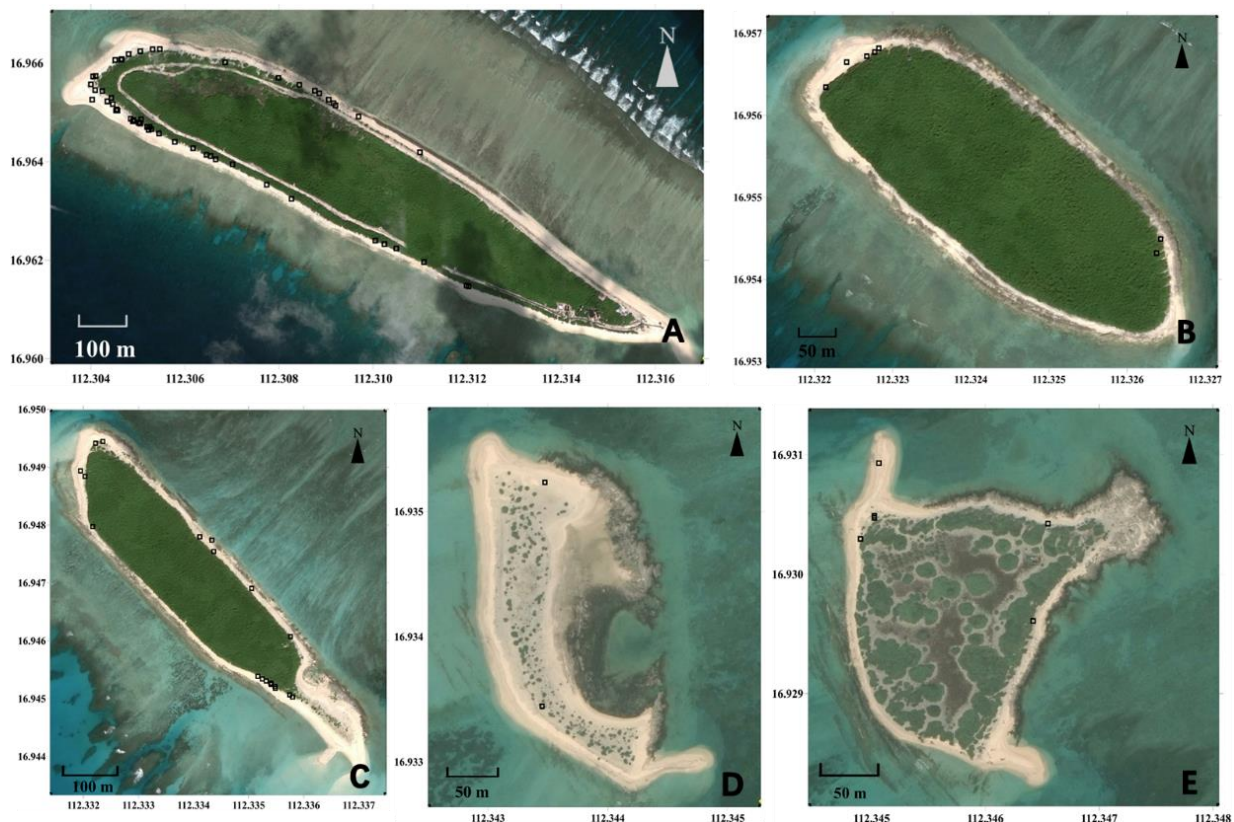


图 3.13 2017 年七连屿蛋窝定位情况整合图

Figure 3.13 Nests distribution of Qilianyu in 2017

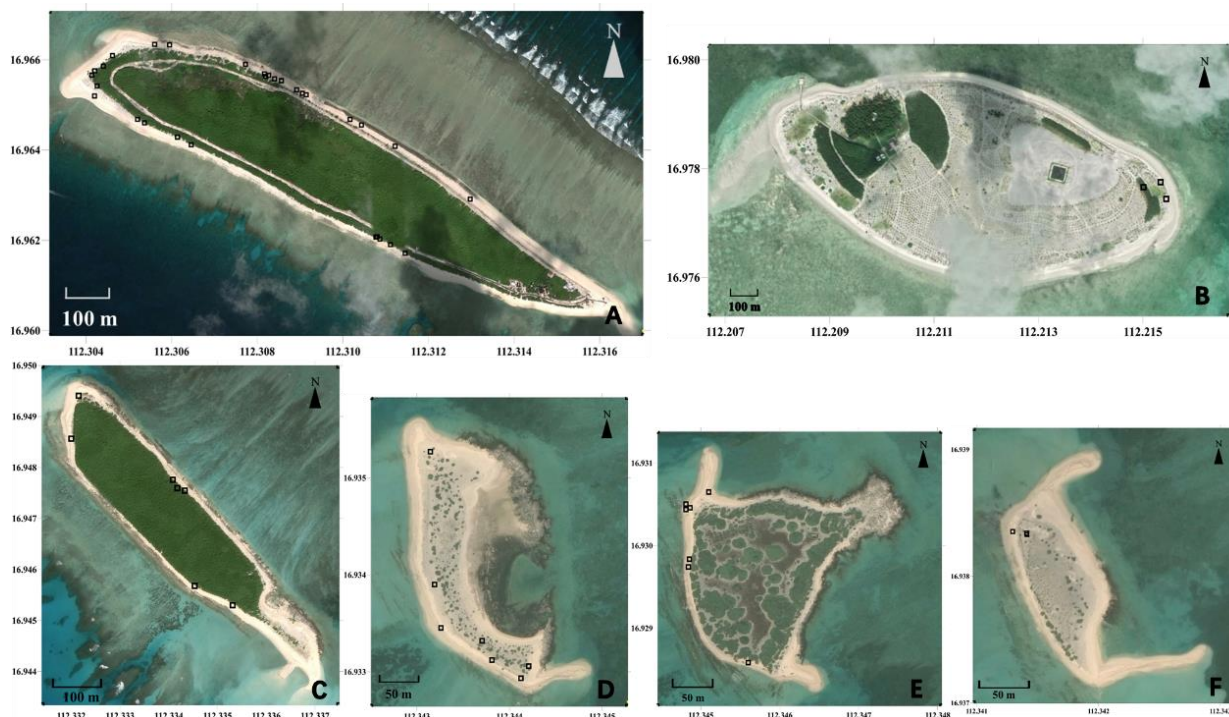


图 3.14 2018 年七连屿蛋窝定位情况整合图

Figure 3.14 Nests distribution of Qilianyu in 2018

海龟是性别不是由基因决定的而是有孵化温度决定的，海龟的孵化温度的要求非常严苛，温度越高越偏向孵化出雌性，而低于其“关键温度”的孵化温度可以使该蛋穴的性别结构更雄性化，孵化温度位于这个关键温度时，其雌性比例比较一致 (Mrosovsky & Yntema, 1980; Mrosovsky, 1994)。每个物种的“关键温度”有所不同，总结各文献记载，绿海龟的关键温度大约在 $28.8\sim 29.4^{\circ}\text{C}$ (Mrosovsky, 1994; Godfrey & Mrosovsky, 2006; Godley, 2002)，超过 30.5°C 后几乎均为雌性，低于 28°C 后几乎都为雄性 (Standora & Spotila, 1985)。从本研究对晋卿岛和北岛蛋穴温度的研究来看 (图 3.11)，蛋穴平均温度几乎均在 29°C 以上。而且本研究放置 HOBO 温湿度记录仪的蛋穴位置均贴近植被，能一定程度的减少太阳照射的时间，另外该 5 个蛋穴的产生时间为 7 月 23 日-8 月 28 日之间，所以可见，至少在 7 月末至 8 月这个时间段内产生的蛋穴，其孵化出雌性海龟的比例非常高。由于蛋穴的平均温度受天气和季节变化的影响，虽然西沙群岛所处的纬度至使其一年内温差不大，但受雨季等气候变化的影响下，蛋穴温度必然会存在波动，所以不同月份产生的蛋穴其雌性比例是不尽相同的，也因此本研究中的明显

“雌化”的数据并不能代表整个产卵场的全年状况。

从沙粒度的检测中我们可以看到，各岛蛋穴内沙的主要粒度组成范围很广，但北岛作为产卵点最密集的岛屿，确实有着较细密的沙质，以及全晋卿岛仅有的有海龟产卵的一个区段内的沙质也同北岛一样比较细密。我们虽然可以说绿海龟比较偏向沙质细密的产卵地，但其对沙子粒度的接受度还是比较宽泛的，这与 Stancyk and Ross (1978) 的描述比较一致，所以在影响海龟的产点选择上需要综合我们之前讨论过的因素，如人类活动频率、植被状况、地形状况等等，以及对于产卵点沙的研究可以更加细化去关注沙子颜色、湿度和 pH 值等。

西沙群岛作为我国现存最大的绿海龟产卵场，需要得到及时的保护以应对世界范围上的产卵场退化现象。对西沙产卵场最好的保护方式是减少人对海龟的干扰和破坏，主要考虑两点：一是人对自然环境的改变上，二是人对雌海龟和海龟蛋的非法贸易上。在产卵场环境方面上，三沙政府对环境自然状态的保持上比较注重，包括植被的维护和建设、保证沙滩清洁度、减少不必要的沙滩的人为改造和控制夜晚灯光使用等，尽可能的平衡了人类生活与海龟的产卵孵化之间的冲突。另外随着政府加大管制力度和人们保护意识的不断提高，西沙群岛上对于产卵海龟的猎捕和海龟的挖取现象已经逐年得到控制。

在对重要物种实施栖息地保护时，可在一定程度保证该物种隔绝自然天敌。但对于西沙群岛新生海龟在陆地上的新生自然天敌并不算多，没有大型捕食者，如狗等这种挖掘能力强的动物挖食海龟蛋，其自然天敌多为沙蟹和海鸟，一般在小海龟孵化后在向大海爬行的路上将其捕食。所以在天敌隔绝上并不紧迫。

另外还有一种会被考虑的保护蛋窝的方式是，将处于不合适产卵点的蛋窝，如易被海水浸泡的区段等，迁移至高潮线以上甚至迁移回室内做人工孵化。但本人并不建议这一做法，第一，如果是考虑在自然界内迁移，那么在海龟产卵多久后迁移，以及新窝点的温湿度和坑的挖掘深度等等一系列问题都需要严格规范，否则并不会起到多大的收益；第二，关于人工孵化问题，这一直是国际上仍然存在争议的行为，因为海龟对产卵地高度忠诚这一现象，可能在很大的程度上得益于其在自然界孵化后可以对出生地的环境产生终生的记忆，凭着对产卵地的记忆，海龟在成年后可以顺利返回出生地进行繁殖 (Lohmann et al., 2008; Putman and Lohmann, 2008;)，但是在人为改变孵化地点后，这种记忆是否还能产生，以及对

海龟种群的自然繁殖会有多大的影响是未知的,因此让海龟在自然条件下孵化才是比较保守的保护方式。而且在调研中发现,由于雌海龟自身原因或者自然情况下对新生稚龟的淘汰完全在合理范围内,西沙群岛的自然环境非常适合海龟孵化,不需要在没有科学方法规范的条件人为影响海龟孵化。西沙群岛最重要的问题在于平衡人与自然环境的关系,和禁止非法利用海龟资源进行交易。

第四章 总结与展望

4.1 成果总结

本研究共标记误捕及救助的海龟 17 只，包括绿海龟 9 只，蠓龟 6 只，太平洋丽龟 2 只，总追踪天数 1504 天。结果表明，17 只海龟无论在迁移路径还是逗留区域几乎均在大陆架范围内，呈现比较明显的偏近岸偏浅海区生活的特点。绿海龟的迁移路径局限在台湾海峡以南的海域，而 1 只蠓龟和 1 只太平洋丽龟，通过台湾海峡向北迁移至东海海域。台湾海峡是我国海龟迁移的重要通道。根据逗留时间总结出的海龟热点区域主要有：北部湾、广东雷州半岛-阳江沿岸及近海、东沙岛附近海域及西部海域、汕头-汕尾近海、台湾海峡南部峡口、福建莆田附近海域、台湾澎湖列岛、台湾西南部及北部沿岸、菲律宾吕宋岛北部及南部沿岸海域、长江口近海海域、济州岛南部海域等。同时绿海龟的逗留区域偏近岸海域，与其以近岸丰富的海草床和珊瑚礁区为觅食场的习性相适应。而蠓龟和太平洋丽龟的逗留区域则更贴近我国各大渔场区，与其捕食底栖无脊椎动物和鱼类等的食性相适应。

在追踪的 17 只海龟中，有 4 只有极大可能性被重新捕上岸，1 只因为吞食塑料异物死亡后搁浅，死亡及重捕率占总标记数量的 29.4%。其他海龟的信号消失原因不详。从该数据可以看出我国海域内海龟的误捕数量不容忽视，需要积极应对渔业引起的海龟数量下降的问题。

本研究共走访西沙群岛 11 个岛屿，确定有海龟上岸产卵的岛屿包括宣德群岛七连屿中的 7 个岛屿（北岛、中岛、南岛、西沙洲、北沙洲、中沙洲和南沙洲），和永乐群岛的晋卿岛。广金岛有往年海龟产卵留下的旧窝痕迹，但无法确定近年间是否有稳定的产卵现象。另外永乐群岛的甘泉岛也确定有海龟产卵，但由于天气原因未能登岛调查。同时对各岛的蛋窝进行定位，对比 2017 和 2018 两年对七连屿蛋窝定位情况，蛋窝数量上虽然有所差距，但分布比较一致，可明显看出各岛适合海龟产卵的区域。其中北岛是产卵窝数最多，蛋窝最密集的岛屿。

2017 和 2018 年七连屿每年的产卵窝数分别为 172 和 122 窝，产卵月份几乎

覆盖全年，但高峰期在 7 月和 8 月。西沙群岛蛋窝内平均蛋数为 87.2 ± 17.9 枚（58~131 枚），平均孵化率为 $78.6\% \pm 24.4\%$ （14.8~100%），平均繁殖力为 $77.5\% \pm 24.8\%$ （14.8~98.8%）。通过本研究获取的平均蛋数和繁殖力数据估算，2016-2018 年的年产蛋量为 10638.4~14998.4 枚，西沙群岛七连屿稚龟年补充量为 8244.8~11623.8 只。

记录到的 4 只上岸雌龟的背甲长为 91~103 cm，背甲宽为 68.5~94 cm。海龟的上岸产卵时间多为晚上 9 点~凌晨 3 点之间。

孵化期在 8 月初至 10 月末期间的蛋穴，日平均温度几乎均在 29 °C 以上，所以该期间孵化的海龟中雌性比例会非常高。

从沙粒度分析来看，虽然在产卵密集的北岛，其沙粒径偏细，但从产卵点沙粒度来看，绿海龟对沙粒度的接受度比较宽泛。其对产卵点的选择上还应结合该区域的人类活动频率、植被状况、地形状况、海流等因素。

4.2 特色与创新点

(1) 本研究是国内首次在福建海域开展卫星定位仪标记研究，大部分采用了大陆渔船在台湾海峡海域误捕的海龟，并从福建海域释放。这补充了海龟在福建海域迁移特征研究的数据，获得了不少海龟的热点地区，为今后的保护措施的设计提供了科学依据。

(2) 本研究首次系统记录了西沙群岛海龟蛋窝分布、产卵量、孵化率、繁殖力等生物学数据，并结合绿海龟产卵场的环境因子（如孵化温度和沙粒度）以及生态特点，综合的描述了我国这一最大的绿海龟产卵场的现状，丰富了国际上在南海这一海域内绿海龟产卵场的数据。

4.3 不足与展望

研究海龟迁移特征，最好是对产卵后雌龟的定位追踪。但是能够观察到上岸雌龟的数量甚少，以及审批手续的制约，本研究跟踪的海龟均为误捕的。今后还

是要加强对产卵雌龟的跟踪研究。

关于海龟迁移特征的分析,本研究偏向于通过迁移路径,对海龟迁移进行时间与空间分布上的描述。但是数据分析形式仍有很多。例如可进一步结合水流、水色和海水表面温度等水文数据,将海龟的迁移分析与环境变化相结合,寻找两者之间是否有明显的关联和规律。

本研究产卵场调查中的走访范围,仅仅涉及了西沙群岛众多岛屿中的 11 个,尤其是永乐群岛区域。对永乐群岛的研究限制主要有两方面,一是受环境影响,永乐群岛的各岛礁不容易停泊靠岸,在有限的研究时间内无法找到合适的天气登陆;二是永乐群岛区域范围大,各岛屿分散程度比七连屿高很多,对于各岛海龟的日常巡逻比较困难,耗费人力物力大,渔民也很难完成海龟产卵的日常记录工作。因此,如何扩大研究范围,获得真实有效的数据,完善西沙群岛产卵场的数据基础,需要与三沙政府进行积极沟通,获得他们的支持和配合。

参考文献

- Balazs G H. Procedures to attach a satellite transmitter to the carapace of an adult green turtle, *Chelonia mydas*[C]//Proceedings of the 15th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, 1996.
- Balazs G H, Chaloupka M. Thirty-year recovery trend in the once depleted Hawaiian green sea turtle stock[J]. *Biological Conservation*, 2004, 117(5): 491-498.
- Bjorndal K A. Nutrition and grazing behavior of the green turtle *Chelonia mydas*[J]. *Marine Biology*, 1980, 56(2): 147-154.
- Bjorndal K A. *The Biology of Sea Turtles, Volume I* [M]// Foraging ecology and nutrition of sea turtles/ CRC Press,1997: 199-231.
- Bjorndal K A, Wetherall J A, Bolten A B, et al. Twenty-six years of green turtle nesting at Tortuguero, Costa Rica: an encouraging trend[J]. *Conservation Biology*, 1999, 13(1): 126-134.
- Bjorndal K A, Bolten A B, Martins H R. Somatic growth model of juvenile loggerhead sea turtles *Caretta caretta*: duration of pelagic stage[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 202: 265-272.
- Bjorndal K A, Bolten A B, Koike B, et al. Somatic growth function for immature loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in southeastern US waters[J]. *Fishery Bulletin*, 2001, 99(2): 240-240.
- Bolten A B. *The Biology of Sea Turtles, Volume II* [M]// Variation in sea turtle life history patterns: neritic vs. oceanic developmental stages / CRC Press,2003: 243-257.
- Bolten A B, Balazs G H. *Biology and Conservation of Sea Turtles*[M]//Biology of the early pelagic stage—the “lost year”/Revised edition. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 1995.
- Bowen B W, Abreu-Grobois F A, Balazs G H, et al. Trans-Pacific migrations of the loggerhead turtle (*Caretta caretta*) demonstrated with mitochondrial DNA markers[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1995, 92(9): 3731-3734.
- Bowen B W, Karl S A. *The Biology of Sea Turtles, Volume I* [M]// Population genetics, phylogeography, and molecular evolution/ CRC Press,1997: 29-50.
- Bustard R. *Sea turtles: natural history and conservation*[J]. New York Taplinger, 1972.
- Campbell L M. *The Biology of Sea Turtles, Volume II* [M]// Contemporary culture, use, and

- conservation of sea turtles/ CRC Press,2003:307-338.
- Carr A. Panspecific reproductive convergence in *Lepidochelys kempi*[M]//Orientierung der Tiere/Animal Orientation. Springer, Berlin, Heidelberg, 1963: 298-303.
- Carr A. The navigation of the green turtle[J]. Scientific American, 1965, 212(5): 78-87.
- Chaloupka M. Historical trends, seasonality and spatial synchrony in green sea turtle egg production[J]. Biological Conservation, 2001, 101(3): 263-279.
- Chaloupka M, Limpus C. Trends in the abundance of sea turtles resident in southern Great Barrier Reef waters[J]. Biological Conservation, 2001, 102(3): 235-249.
- Chan S K F, Chan J K, Lo L T, et al. Satellite tracking of the post-nesting migration of a green turtle (*Chelonia mydas*) from Hong Kong[J]. Marine turtle newsletter, 2003, 102: 2-4.
- Chan S K F, Cheng I J, Zhou T, et al. A comprehensive overview of the population and conservation status of sea turtles in China[J]. Chelonian Conservation and Biology, 2007, 6(2): 185-198.
- Chen T H, Cheng I J. Breeding biology of the green turtle, *Chelonia mydas*, (Reptilia: Cheloniidae) on Wan-an Island, Peng-Hu Archipelago, Taiwan. I. nesting ecology[J]. Marine Biology, 1995, 124(1): 9-15.
- Cheng I J. Sea turtles at Dungsha Tao, South China Sea[J]. Marine Turtle Newsletter, 1995, 70: 13-14.
- Cheng I J. Sea turtles at Taipin Tao, South China Sea[J]. Marine Turtle Newsletter, 1996, 75(6).
- Cheng I J. Nesting ecology and postnesting migration of sea turtles on Taipin Tao, Nansha archipelago, South China Sea[J]. Chelonian Conservation and Biology, 2007, 6(2): 277-282.
- Cheng I J. Post-nesting migrations of green turtles (*Chelonia mydas*) at Wan-an Island, Penghu Archipelago, Taiwan[J]. Marine Biology, 2000, 137(4): 747-754.
- Cheng I J, Wang Y H. Influence of surface currents on post-nesting migration of green sea turtles nesting on Wan-An Island, Penghu Archipelago, Taiwan[J]. Journal of Marine Science and Technology, 2009, 17(4): 306-311.
- Cheng I J, Dutton P H, Chen C L, et al. Comparison of the genetics and nesting ecology of two green turtle rookeries[J]. Journal of Zoology, 2008, 276(4): 375-384.
- Cheng I J, Huang C T, Hung P Y, et al. Ten years of monitoring the nesting ecology of the green turtle, *Chelonia mydas*, on Lanyu (Orchid Island), Taiwan[J]. Zoological Studies, 2009, 48(1):

83-94.

Cheng I J, Cheng W, Chan Y T. Geographically closed, yet so different: Contrasting long-term trends at two adjacent sea turtle nesting populations in Taiwan due to different anthropogenic effects[J]. *PloS one*, 2018, 13(7): e0200063.

Coyne M S. Population sex ratio of the Kemp's ridley sea turtle (*Lepidochelys kempii*): problems in population modeling[D]. Texas A&M University, 2000.

Dodd Jr C K. Synopsis of the biological data on the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* (Linnaeus 1758)[R]. FLORIDA COOPERATIVE FISH AND WILDLIFE RESEARCH UNIT GAINESVILLE, 1988.

Fonseca L G, Murillo G A, Guadamúz L, et al. Downward but stable trend in the abundance of arribada olive ridley sea turtles (*Lepidochelys olivacea*) at Nancite beach, Costa Rica (1971–2007)[J]. *Chelonian Conservation and Biology*, 2009, 8(1): 19-27.

Fuentes M, Hamann M, Limpus C J. Past, current and future thermal profiles of green turtle nesting grounds: Implications from climate change[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2010, 383(1): 56-64.

Gilman E L, Lundin C G. Minimizing bycatch of sensitive species groups in marine capture fisheries: lessons from tuna fisheries[J]. *Handbook of marine fisheries conservation and management*, 2010: 150-164.

Gilman E, Zollett E, Beverly S, et al. Reducing sea turtle by-catch in pelagic longline fisheries[J]. *Fish and Fisheries*, 2006, 7(1): 2-23.

Godfrey M H, Mrosovsky N. Pivotal temperature for green sea turtles, *Chelonia mydas*, nesting in Suriname[J]. *The Herpetological Journal*, 2006, 16(1): 55-61.

Godley B J, Broderick A C, Glen F, et al. Temperature-dependent sex determination of Ascension Island green turtles[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 226: 115-124.

Hatase H, Kinoshita M, Bando T, et al. Population structure of loggerhead turtles, *Caretta caretta*, nesting in Japan: bottlenecks on the Pacific population[J]. *Marine Biology*, 2002, 141(2): 299-305.

Hatase H, Sato K, Yamaguchi M, et al. Individual variation in feeding habitat use by adult female green sea turtles (*Chelonia mydas*): are they obligately neritic herbivores?[J]. *Oecologia*, 2006,

- 149(1): 52-64.
- Henwood T A. Movements and seasonal changes in loggerhead turtle *Caretta caretta* aggregations in the vicinity of Cape Canaveral, Florida (1978–84)[J]. *Biological Conservation*, 1987, 40(3): 191-202.
- Hillestad, H.O., Richardson, J.I., McVea, C., Jr., and Watson, J.M., Jr. Biology and conservation of sea turtles [M]//Worldwide incidental capture of sea turtles/Revised edition. Edited by K.A. Bjorndal. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. 1995: 489–495.
- Hirth H. Synopsis of biological data on the green turtle, *Chelonia mydas* (Linnaeus) 1758[J]. FAO Fisheries Synopsis, 1971, 85.
- Hu J, Kawamura H, Li C, et al. Review on current and seawater volume transport through the Taiwan Strait[J]. *Journal of oceanography*, 2010, 66(5): 591-610.
- Hughes D A, Richard J D. The nesting of the Pacific ridley turtle *Lepidochelys olivacea* on Playa Nancite, Costa Rica[J]. *Marine Biology*, 1974, 24(2): 97-107.
- Ishihara T, Matsuzawa Y, Wang J, et al. 2nd International Workshop to Mitigate Bycatch of Sea Turtles in Japanese Pound Nets[J]. *Marine Turtle Newsletter*, 2011, 130: 27-28.
- Jia Y, Wang J, Balazs G H, Liu Min. Nest Productivity for Green Turtles (*Chelonia mydas*) at Qilianyu of Xuande Islands, South China Sea, P.R. China: Preliminary Findings[J]. *Chelonian Conservation and Biology*, 2019, 18(1)-1307. In press. doi: 10.2744/CCB-1307.1
- Kalb H J. Behavior and physiology of solitary and arribada nesting olive ridley sea turtles (*Lepidochelys olivacea*) during the internesting period[D]. Texas A & M University, 1999.
- Karl S A, Bowen B W. Evolutionary significant units versus geopolitical taxonomy: molecular systematics of an endangered sea turtle (genus *Chelonia*)[J]. *Conservation Biology*, 1999, 13(5): 990-999.
- Kobayashi D R, Polovina J J, Parker D M, et al. Pelagic habitat characterization of loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in the North Pacific Ocean (1997–2006): insights from satellite tag tracking and remotely sensed data[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2008, 356(1-2): 96-114.
- Kobayashi D R, Cheng I J, Parker D M, et al. Loggerhead turtle (*Caretta caretta*) movement off the coast of Taiwan: characterization of a hotspot in the East China Sea and investigation of

- mesoscale eddies[J]. ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(4): 707-718.
- Lewison R L, Crowder L B, Read A J, et al. Understanding impacts of fisheries bycatch on marine megafauna[J]. Trends in ecology & evolution, 2004, 19(11): 598-604.
- Limpus C J. Puberty and first breeding in *Caretta caretta*[J]. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC, 1990, 278: 81-83.
- Limpus C J, Musick J A. The Biology of Sea Turtles, Volume I [M]// Habitat utilization and migration in juvenile sea turtles/ CRC Press,1997: 151-178.
- Lohmann K. J., Witherington B. E., Lohmann C. M. F. et al. The Biology of Sea Turtles, Volume I [M]// Orientation, navigation, and natal beach homing in sea turtles/ CRC Press, 1997: 121-150.
- Lohmann K J, Putman N F, Lohmann C M F. Geomagnetic imprinting: A unifying hypothesis of long-distance natal homing in salmon and sea turtles[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2008, 105(49): 19096-19101.
- López-Mendilaharsu M, Gardner S C, Seminoff J A, et al. Identifying critical foraging habitats of the green turtle (*Chelonia mydas*) along the Pacific coast of the Baja California peninsula, Mexico[J]. Aquatic conservation: Marine and freshwater ecosystems, 2005, 15(3): 259-269.
- Luschi P, Papi F, Liew H C, et al. Long-distance migration and homing after displacement in the green turtle (*Chelonia mydas*): a satellite tracking study[J]. Journal of Comparative Physiology A, 1996, 178(4): 447-452.
- Luschi P, Hays G C, Del Seppia C, et al. The navigational feats of green sea turtles migrating from Ascension Island investigated by satellite telemetry[J]. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 1998, 265(1412): 2279-2284.
- Luschi P, Åkesson S, Broderick A C, et al. Testing the navigational abilities of ocean migrants: displacement experiments on green sea turtles (*Chelonia mydas*)[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2001, 50(6): 528-534.
- Lutcavage M E, Plotkin P, Witherington B, et al. The Biology of Sea Turtles, Volume I [M]// Human Impacts on Sea Turtle Survival / CRC Press, 1997: 387-409.
- Mansfield K L, Wyneken J, Porter W P, et al. First satellite tracks of neonate sea turtles redefine the 'lost years' oceanic niche[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2014,

- 281(1781): 20133039
- Manzella S A, Caillouet Jr C W, Fontaine C T. Kemp's ridley, *Lepidochelys kempi*, sea turtle head start tag recoveries: Distribution, habitat, and method of recovery[J]. *Marine Fisheries Review*, 1988, 50(3): 24-32.
- McClellan C M, Read A J. Complexity and variation in loggerhead sea turtle life history[J]. *Biology letters*, 2007, 3(6): 592-594.
- McClenachan L, Jackson J B C, Newman M J H. Conservation implications of historic sea turtle nesting beach loss[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2006, 4(6): 290-296.
- Miller J D. *The Biology of Sea Turtles, Volume I* [M]// *Reproduction in sea turtles*/ CRC Press, 1997: 151-178.
- Moritz C, Broderick D, Dethmers K, et al. Population genetics of Southeast Asian and Western Pacific green turtles, *Chelonia mydas* [J]. *Final report to UNEP/CM0053*, 2002: 1-42.
- Mortimer J A. The feeding ecology of the West Caribbean green turtle (*Chelonia mydas*) in Nicaragua [J]. *Biotropica*, 1981: 49-58.
- Mortimer, J. A. *Biology and conservation of sea turtles* [M]// *Factors influencing beach selection by nesting sea turtles.*/ Smithsonian Institution Press, Washington. 1995: 45-52.
- Mrosovsky N, Yntema C L. Temperature dependence of sexual differentiation in sea turtles: implications for conservation practices [J]. *Biological Conservation*, 1980, 18(4): 271-280.
- Mrosovsky N. Sex ratios of sea turtles [J]. *Journal of Experimental Zoology*, 1994, 270(1): 16-27
- Ng C K Y. Conservation implications of the genetic structure and habitat use of green turtles (*Chelonia mydas*) in the South China Region and baseline contaminant levels in green turtles and Burmese pythons (*Python bivittatus*) [D]. City University of Hongkong. 2015.
- Ng C K Y, Dutton P H, Chan S K, et al. Characterization and conservation concerns of green turtles (*Chelonia mydas*) nesting in Hong Kong, China [J]. *Pacific Science*, 2014, 68(2): 231-243.
- Ng C K Y, Gu H X, Li T H, et al. Insights into identifying habitat hot spots and migratory corridors of green turtles in the South China region [J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2018, 28(5): 1181-1191.
- Nishizawa H, Abe O, Okuyama J, et al. Population genetic structure and implications for natal philopatry of nesting green turtles *Chelonia mydas* in the Yaeyama Islands, Japan [J].

- Endangered Species Research, 2011, 14(2): 141-148.
- Owens D W. [J]. The Biology of Sea Turtles, Volume I [M]// Hormones in the life history of sea turtles / CRC Press,1997: 363-385.
- Papi F, Liew H C, Luschi P, et al. Long-range migratory travel of a green turtle tracked by satellite: evidence for navigational ability in the open sea[J]. Marine Biology, 1995, 122(2): 171-175.
- Papi F, Luschi P. Pinpointing'Isla Meta': the case of sea turtles and albatrosses[J]. Journal of Experimental Biology, 1996, 199(1): 65-71.
- Papi F, Luschi P, Crosio E, et al. Satellite tracking experiments on the navigational ability and migratory behaviour of the loggerhead turtle *Caretta caretta*[J]. Marine Biology, 1997, 129(2): 215-220.
- Papi F, Luschi P, Akesson S, et al. Open-sea migration of magnetically disturbed sea turtles[J]. Journal of Experimental Biology, 2000, 203(22): 3435-3443.
- Plotkin P T. Migratory and reproductive behavior of the olive ridley turtle, *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz, 1829), in the eastern Pacific Ocean[D]. Texas A&M University, 1994.
- Plotkin P T. The Biology of Sea Turtles, Volume II [M]// Adult migrations and habitat use/ CRC Press,2003: 225-241.
- Plotkin P T. Nomadic behaviour of the highly migratory olive ridley sea turtle *Lepidochelys olivacea* in the eastern tropical Pacific Ocean[J]. Endangered Species Research, 2010, 13(1): 33-40
- Plotkin P T, Byles R A, Owens D W. Post-breeding movements of male olive ridley sea turtles *Lepidochelys olivacea* from a nearshore breeding area. Movimientos después del apareamiento de los machos de las tortugas marinas lora de una zona de cría cerca de la costa[J]. NOAA Technical Memorandum-NMFS-SEFSC., 1994 (351): 119.
- Plotkin P T, Spotila J R. Post-nesting migrations of loggerhead turtles *Caretta caretta* from Georgia, USA: conservation implications for a genetically distinct subpopulation[J]. Oryx, 2002, 36(4): 396-399.
- Polovina J, Uchida I, Balazs G, et al. The Kuroshio Extension Bifurcation Region: a pelagic hotspot for juvenile loggerhead sea turtles[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2006, 53(3-4): 326-339.
- Putman N F, Lohmann K J. Compatibility of magnetic imprinting and secular variation[J]. Current

- Biology, 2008, 18(14): R596-R597.
- Salmon M, Hamann M, Wyneken J. The development of early diving behavior by juvenile flatback sea turtles (*Natator depressus*)[J]. *Chelonian Conservation and Biology*, 2010, 9(1): 8-17.
- Shanker K, Pandav B, Choudhury B C. An assessment of the olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) nesting population in Orissa, India[J]. *Biological Conservation*, 2004, 115(1): 149-160.
- Song X, Wang H, Wang W, et al. Satellite tracking of post-nesting movements of green turtles *Chelonia mydas* from the Gangkou Sea Turtle National Nature Reserve, China, 2001[J]. *Marine Turtle Newsletter*, 2002, 97: 8-9.
- Stancyk S E, Ross J P. An analysis of sand from green turtle nesting beaches on Ascension Island[J]. *Copeia*, 1978, 1978(1): 93-99.
- Standora E A, Spotila J R. Temperature dependent sex determination in sea turtles[J]. *Copeia*, 1985: 711-722.
- Tamura S, Shiode D, Kaneko Y, et al. Behavior of sea turtles to a turtle releasing device (TRD) for set nets of the mid-water and sea-bottom bagnet type[J]. *Nippon suisan gakkaiishi*, 2014, 80(6): 900-907.
- Wang Y M, Li W. Sea turtle survey, monitoring and awareness promotion programme in Mainland China[J]. Final Report. Project supported by US Fish and Wildlife Service, Department of Interior, Washington, DC.2008.
- Watson K P, Granger R A. Hydrodynamic effect of a satellite transmitter on a juvenile green turtle (*Chelonia mydas*)[J]. *Journal of Experimental Biology*, 1998, 201(17): 2497-2505.
- Witherington B E, Martin R E. Understanding, Assessing, and Resolving Light-Pollution Problems on Sea Turtle Nesting Beaches[J]. Florida Marine Research Institute Technical Report, 2000, 24(1):11.
- Witherington B E, Hirama S, Hardy R. Young sea turtles of the pelagic Sargassum-dominated drift community: habitat use, population density, and threats[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2012, 463: 1-22.
- 郭昱嵩, 王中锋, 刘楚吾. 中国南海绿海龟 (*Chelonia mydas*) 线粒体 DNA 序列分析[J]. 廣東海洋大學學報, 2009, 29(1): 6-9.

- 黄祝坚, 孙家骏. 海龟的保护策略[J]. 海洋科学, 1982, 71.
- 黄祝坚, 毛延年. 海龟的种类, 习性及其资源保护[J]. 生态学杂志, 1984 (6): 37-40.
- 罗柳墀, 陈久林, 陈添喜. 2014 年澎湖县绿蠵龟 (*Chelonia mydas*) 繁殖与族群危机调查[J]. 台湾生物多样性研究, 2016, 18(1): 51-68.
- 牟剑锋, 陶翠花, 丁晓辉, 等. 中国沿岸海域海龟的种类和分布的初步调查[J]. 应用海洋学报, 2013, 32(2): 238-242.
- 欧阳统, 张阁卿, 陈盛. 西沙群岛生物资源面临的困扰及保护建议[J]. 海洋与海岸带开发, 1992(02):39-43.
- 王文质, 王东晓, 王华接. 港口海龟洄游卫星追踪试验. 中国科学院院刊, 2002, (2): 152-153.
- 王亚民. 我国南海海龟资源的调查与保护研究现状与展望[J]. 生态学杂志, 1993 (6): 60-61.
- 夏中荣, 古河祥. 绿海龟卫星追踪报道. 四川动物, 2012, 31(3): 435-438.
- 叶明彬, 陈华灵, 古河祥, 等. 人工培育幼年绿海龟的卫星追踪试验. 四川动物, 2015, 34(1): 15-20.
- 张晓荣, 梁玉麟. 南海海龟资源现状及孵化养殖技术初步研究[J]. 湛江水产学院学报, 1993, 13(1): 41-48.
- Anonymous, 中国科学院南海海洋研究所生物室资源组. 西沙群岛海龟生殖习性的初步观察 [J]. 动物学杂志, 1975(04):34-35+49.

攻读硕士学位期间发表的论文、编写的报告以及参与的项目

Jia Y, Wang J, Balazs G H, Liu Min. Nest Productivity for Green Turtles (*Chelonia mydas*) at Qilianyu of Xuande Islands, South China Sea, P.R. China: Preliminary Findings[J]. *Chelonian Conservation and Biology*, 2019, 18(1)-1307. In press. doi: 10.2744/CCB-1307.1

王静 郭睿 杨袁筱月 张宇 贾语嫣 刘敏 金嘉满 季琳 张冀强。中国海龟现状及保护行动建议[J] 《野生动物学报》(评审修改再提交)

刘敏、贾语嫣。《全国海洋馆(水族馆)展养海龟现状调查报告》 水野协(2019)4号

刘敏、贾语嫣。《海南省三沙市西沙群岛 2017 年海龟调查报告》

刘敏、贾语嫣。《海南省三沙市西沙群岛 2018 年海龟调查报告》

农业农村部渔业渔政管理局项目:《开展海龟产卵场、野外种群分布等基础性研究,制定产卵场保护、海龟调查等相关技术规范,开展公众教育,配合开展海洋馆在养海龟情况调查》, 2018。

国家海洋局:《中国-东盟海洋大数据综合信息服务平台建设项目》, 2016-2018。

致谢

本研究是在导师刘敏教授的悉心指导下完成的。从论文的选题、实验的设计、研究的开展到论文的撰写，都凝聚着导师的心血。在三年的学习生活中，刘老师开阔的眼界和渊博的学识，对待科研严谨认真的态度，以及不辞辛劳的工作作风，一直鞭策着我前进，是我努力的方向。同时刘老师谦虚大度的行事方式，以诚待人的珍贵品质，在潜移默化中改变着我，使我备受熏陶。在此，我谨向刘老师致以最崇高的敬意和诚挚的感谢！

此外，衷心地感谢农业农村部渔业渔政管理局和全国水生野生动物保护分会给予的大力支持，感谢保护国际基金会（Conservation International）以及北京市朝阳区永续全球环境研究所（GEI）在卫星定位仪上的支持；感谢三沙市政府、七连屿工委、永乐工委在西沙群岛绿海龟产卵场研究上给予的支持与信任。衷心感谢美国国家海洋和大气管理局（NOAA）研究员 Mr. George Balazs 在整个海龟研究领域上给予的指导与帮助；感谢夏威夷大学的 Ms. Denise Parker 在定位追踪数据处理上的指导；感谢 NOAA National Wildlife Health Center 的 Dr. Thierry Work 在海龟救护上给予的指导；感谢香港渔农署的 Dr. Kanyan Ng 在海龟定位追踪技术上的意见；感谢林柏岸师兄、姜艳师姐、张蓝蓝师妹和许庆师弟在实验中给予的帮助；感谢肖佳媚老师在论文送审和答辩工作中付出的辛苦，及感谢答辩委员会成员许肖梅教授、夏中荣博士和陈炳耀博士给予的宝贵意见。

转眼间三年的研究生生活已经结束，一路走来感谢每一段难忘的经历和身边默默给予帮助的朋友。首先很荣幸能有机会成为香港海洋公园兽医部的志愿者学员，感谢 Dr. Paolo Martelli, Dr. Lee Foo Khong, Dr. Sarah Churgin, Dr. Kristin Groenvold 等人在海龟救护和伤病诊断上给予的指导。在西沙群岛两年度的驻岛调查中，快乐与辛苦并存，在此由衷感谢黄宏波主任、王雄主任、何欣宇、黄程、符泳波、符泳浪和陈炎等人，在产卵场研究中给予的鼎力帮助。再者我想感谢身边的一路支持我的朋友——吴泽轮，何春榕，是你们用自己的学识为助我解决研究中遇到的困难，是你们给予的陪伴使我有力量度过每一个难关，做出每一个艰难的决定。

最后，我由衷地感谢一直在身后支持着我的父母与家人，是你们的陪伴与奉献让我成长到今天，我将带着这份爱继续前行！