

《中华白海豚声学调查技术规程》
(征求意见稿)
编制说明

《中华白海豚声学调查技术规程》

标准编制组

2025 年 02 月

目录

一、工作简况	1
二、立项必要性及拟解决的问题	2
三、标准框架和内容的确定	3
四、与现行法律法规、强制性标准等上位标准关系	5
五、标准调研、研讨、征求意见情况	7
六、标准有何先进性或特色性	14
七、贯彻标准的要求和措施建议	14
八、其他应予说明的事项	14

《中华白海豚声学调查技术规程》（征求意见稿）

编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

2024年6月，广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局与中国科学院水生生物研究所签订了“中华白海豚声学实时监测技术的船基截线监测规程及年度监测报告编制”项目协议。根据协议要求，双方共同编制“拖曳式中华白海豚声学实时监测技术的船基截线监测规程”。2024年6月，广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局（申请单位）和中国科学院水生生物研究所（参与单位）共同交流和讨论了“拖曳式中华白海豚声学实时监测技术的船基截线监测规程”的编制目标、主要内容、海上调查方案、人员组织和分工、时间计划、参考文献和参考数据等，并启动了资料和数据收集与整理、海上调查、数据分析、内容编写等工作。2024年6月，广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局和中国科学院水生生物研究所共同编写完成并向广东省湿地保护协会提交了《基于被动声学监测的中华白海豚种群调查技术规程》团体标准项目申报书。

（二）编制单位及协作分工

编制单位是广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局（牵头单位）和中国科学院水生生物研究所（协作单位）。

（三）工作过程

2024年8月14日，广东省湿地保护协会组织召开“2024年广东省湿地保护协会团体标准立项论证会”，与会专家对《基于被动声学监测的中华白海豚种群调查技术规程》进行了立项论证，认为该标准有实践技术基础、有很强的技术保障、有很大的技术需求。会议通过了立项申报，同时提出了立项修改建议，包括将名称修改为《中华白海豚声学调查技术规程》，明确技术参数指标（例如被动声学监测应监测到1.0 km以上范围内中华白海豚声呐信号），在结构上至少包括调查方案设计、数据收集、数据处理、报告编制等内容。编制单位根据会议论证意见对申报材料进行了修改和完善。

2024年8月16日，广东省湿地保护协会发布了“关于2024年度广东省湿地保护协会团体标准立项的公示”，对《中华白海豚声学调查技术规程》（制定）进行了公示，公示期为2024年8月16日至2024年8月26日。公示期未收到异议。

2024年8月27日，广东省湿地保护协会发布了“关于批准2024年度广东省湿地保护协会团体标准立项的公告”，并开放了“团体标准参编申报”通道。未收到参编单位申报。

《中华白海豚声学调查技术规程》的计划编号为“T/GWCA002-2024”。2024年10月16日，广东省湿地保护协会与项目牵头单位签订了“团体标准制修订项目任务书”。按照“项目任务书”要求，编制工作进入到“征求意见稿”和“编制说明”的编制阶段。

2024年11月26日，编制单位通过会议的形式征求了中华白海豚生态学、生物声学及湿地保护等领域专家的意见，并根据专家意见对“征求意见稿”和“编制说明”做了修订。

2024年12月31日，编制单位完成了“征求意见稿”和“编制说明”的编制工作。

（四）主要起草人及其分工

本标准编制的牵头单位是广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局，协作单位是中国科学院水生生物研究所。主要起草人及其所在单位和所做的主要工作如下：

肖尤盛（广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局），项目负责人。

张朝明（广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局），海上调查负责人。

陈希（广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局），资料和数据收集负责人。

王庆玲（广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局），资料和数据收集与整理。

陈宇维（中国科学院水生生物研究所），海上调查，数据收集、整理、分析，部分内容编写。

刘明超（中国科学院水生生物研究所），海上调查设备维护，数据收集、整理和分析，部分内容编写。

梅志刚（中国科学院水生生物研究所），资料和数据分析与部分内容编写。

邓晓君（中国科学院水生生物研究所），资料和数据收集与整理。

周硕（中国科学院水生生物研究所），资料和数据收集与整理。

彭博炜（中国科学院水生生物研究所），资料和数据收集与整理。

范飞（中国科学院水生生物研究所），资料和数据收集与整理。

郑劲松（中国科学院水生生物研究所），资料和数据分析与部分内容编写。

郝玉江（中国科学院水生生物研究所），资料和数据分析与部分内容编写。

王丁（中国科学院水生生物研究所），内容审核和修订。

王克雄（中国科学院水生生物研究所），主要内容编写和修订。

二、立项必要性及拟解决的问题

（一）立项的必要性

中华白海豚（*Sousa chinensis*）是国家一级重点保护野生动物，我国东南沿海福建、广东、广西、海南、香港、台湾是全球中华白海豚最集中的分布区。中华白海豚国家级重要湿地位于珠江口伶仃洋，栖息着中华白海豚全球最大的种群，更是粤港澳大湾区河口与海洋生态环境保护及物种多样性保护的重要示范区。珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局负责该海域生态环境和以中华白海豚为关键物种的生物多样性调查、监测和保护工作，其中最核心的工作是中华白海豚种群数量和分布区域调查，以及提出和实施保护措施。

针对该海域中华白海豚种群数量先后开展了多次不同规模的调查，并且主要采用传统的标志重捕（照相识别）和目视截线抽样方法进行调查。这些方法对调查人员的数量、观察经验、主观努力程度，以及海上能见度和影像设备技术参数等有非常高的要求，并且后期的数据分析需要专业人员支持才能完成。因此，一直以来中华白海豚种群调查技术的提升和全面

推广未见明显突破，有必要尽快建立一种更加快捷便利和更易于应用与推广的调查方法。

虽然《野生动物保护法》《湿地保护法》《海洋环境保护法》和《中华白海豚保护行动计划》等法律和物种保护行动计划均支持开展中华白海豚种群调查，但是现有的水生哺乳动物行业标准并未涉及中华白海豚种群调查，更未涉及到中华白海豚的被动声学监测（Passive Acoustic Monitoring, PAM）调查。因此有必要开展中华白海豚种群调查标准的编制，以满足广东省重要鲸豚保护湿地和自然保护区中华白海豚种群调查的迫切需要。

因为尚未有针对中华白海豚种群调查的统一技术标准，同时受限于资金量、调查人员的数量和经验，以及天气和海况等主客观条件，不同机构的调查方法、调查结果均存在一些偏差，对保护主管部门准确掌握中华白海豚种群现状及其变化趋势非常不利，并在很大程度上影响精准保护对策的制订和实施。因此，有必要尽快建立一种更通用和更易于应用与推广的调查方法。

（二）拟解决的问题

中华白海豚是发声水生动物，发声贯穿其全部生命活动过程，采用 PAM 技术可观察中华白海豚的数量和方位。PAM 在中华白海豚、长江江豚等多种小型齿鲸种群调查中已有较长期的应用，是鲸豚种群调查的重要技术之一。与标志重捕、目视截线抽样等传统方法不同的是，PAM 具有高度客观性，对观察人员的数量、观察经验和海上观察条件等不敏感，具有较强的可推广性，既可独立应用，亦可与传统调查方法同步应用。2006 年以来 PAM 技术一直在我国长江江豚种群调查中使用，对长江江豚零星个体或较小群体的监测率高于目视观察，近年也在其他小型鲸类调查中应用，具有较高的监测率。本项目在综合分析 PAM 技术及其应用场景的基础上，基于实际的海上调查过程和结果，获得 PAM 调查的重要技术参数，打通 PAM 调查的理论模型与实际应用场景之间的部分关键环节，建立基于 PAM 的中华白海豚种群调查技术标准。

本项目拟在我国东南沿海各级鲸豚保护湿地和鲸豚自然保护区推广基于 PAM 的中华白海豚调查技术标准，克服传统调查技术应用和推广效率低的缺陷，实现较大幅度降低调查成本，减少对有经验调查人员数量的依赖，降低对海上能见度和海况的要求，高效获得中华白海豚种群数量和分布情况，为中华白海豚等鲸豚湿地生态环境保护及鲸豚自然保护区生态环境保护提供技术支撑。

三、标准框架和内容的确定

（一）标准框架的构成

（1）调查设备和安装。主要涉及 PAM 调查设备的组成、主要功能和设备的主要技术参数，以及设备部件之间的连接和安装要求。

（2）调查方案的设计和实施。主要涉及 PAM 调查的时间、航线、人员和可接受的天气与海况条件，以及调查过程中的数据收集与存储等技术事项及安全事项。

（3）调查数据分析和调查报告编制。主要涉及 PAM 调查数据的整理和分析方法，以及调查结果的复核与调查报告编制及技术审核、审定。

（二）标准内容的确定

虽然基于 PAM 技术的中华白海豚种群调查涉及到多项技术，比如鲸豚生物声学信号的记录和处理技术、鲸豚种群调查和种群数量估算技术、鲸豚湿地和鲸豚保护地生态环境监测和评价技术等，但是本标准重点关注的是中华白海豚种群数量估算，采用的技术一方面是基于中华白海豚生物声学研究而发展出的 PAM 技术，另一方面是基于鲸豚截线抽样调查和数据处理技术。在开展 PAM 调查过程中会涉及到诸多事项，比如调查船舶航行、天气和海况、人员组织、设备和数据安全等，但是为了保证本标准的广泛适用性和可持续推广性，同时减少本标准对特定环境条件和设备条件的过度依赖性，因此本标准重点关注中华白海豚 PAM 调查的最核心环节和最重要过程，比如标准的适用范围、设备技术参数、调查方案、数据采集和分析、报告编制等。

（1）标准适用范围

本标准适用于在广东省内鲸豚保护湿地和鲸豚自然保护地开展基于 PAM 技术的中华白海豚种群调查。

（2）调查设备的组成、选择和安装

调查设备包括移动调查平台和安装于平台上的设备。移动调查平台为适航的调查船舶，设备包括 PAM 设备和辅助设备等。PAM 设备包括水听器阵列和声信号存储与实时处理设备，辅助设备包括便携式全球定位系统（GPS）、手持式望远镜、便携式电源和线缆等。

水听器阵列的选择主要基于其响应频率、接收灵敏度和时间分辨率。声信号处理设备的选择主要基于其采样率、声信号存储容量和连续读写数据的速度。PAM 调查设备和辅助调查设备安装或放置在调查船舶上，设备之间通过有线连接，水听器阵列拖曳于调查船舶的尾部，与船上设备之间通过信号线缆连接。

（3）调查方案的设计和实施

调查方案的设计主要考虑减少调查水域的人为活动（比如商业航运和水面大型设施等）和天气与海况等对考察的影响，保证所获得的调查数据具有较强的时空连续性和完整性，以及较好的代表性。在设计调查航线时尽量保证航线为较长距离的直线并减少短距离补充航线的数量，同时尽量减少调查水域人为活动等频繁导致航行中断或频繁改变航行速度。调查期间的天气和海况应满足航行安全、调查设备正常运行、数据采集可信等原则确定。

调查人员的数量和专业基于保障航行安全、调查设备正常运行、数据采集可信及人员劳逸结合等原则确定。既要保证调查人员相对固定，又要避免因长时间连续工作导致疲劳而引发航行安全、设备安全和数据质量事故。

（4）调查数据的分析

数据分析的目的是估算调查水域中华白海豚的数量，而数量与调查水域的面积和中华白海豚种群密度直接相关。面积可以基于地图影像进行测量而获得，但是密度的估算则需要借助一个参数，即在调查航线上中华白海豚被 PAM 调查到的概率，通常用 $g(0)$ 表示。该值是一项理论值，并非实际的观察值，比如当取 $g(0)=1$ 时，意味着从理论上而言调查航线上全部中华白海豚均能被 PAM 观察到。在 PAM 调查中，在航线上调查到的中华白海豚的数量是一项实际观察值，将该值除以 $g(0)$ 即可得出 PAM 调查到的中华白海豚理论数量。将理论

数量除以调查航线面积（即 PAM 采样带面积）即可得出调查航线上中华白海豚的理论密度，即单位面积内中华白海豚的理论数量。将中华白海豚的理论密度乘以所调查水域的总面积即可得出所调查水域中华白海豚的数量。为了选用最佳匹配的 $g(0)$ 值，本研究一方面参考其他种类小型齿鲸 PAM 调查和中华白海豚截线抽样调查的研究结果；另一方面通过海上调查进行实测，以确定针对中华白海豚 PAM 调查的 $g(0)$ 值。

另一个需要用到的参数是 PAM 调查航带的面积，即调查航带的长度乘以调查航带的宽度。调查航带的长度即为调查航线的长度，以实际的航行距离为参考；而调查航带的宽度主要参考 PAM 监测的有效范围而定，即水听器阵列的左侧、右侧的有效宽度之和。

（5）调查报告的编制

调查报告属于技术性报告，由调查团队主要技术负责人组织编写，并由技术负责人审定。调查报告的内容包括基本的环境信息和设备信息、调查努力量，以及所获得的数据量、数据分析方法和调查结果等。

四、与现行法律法规、强制性标准等上位标准关系

（一）与现行法律法规的关系

我国有多项法律支持开展包括中华白海豚在内的野生动物调查。

《野生动物保护法》第十一条和第十二条分别做出了如下规定：“县级以上人民政府野生动物保护主管部门应当加强信息技术应用，定期组织或者委托有关科学研究机构对野生动物及其栖息地状况进行调查、监测和评估，建立健全野生动物及其栖息地档案。”“国务院野生动物保护主管部门应当会同国务院有关部门，根据野生动物及其栖息地状况的调查、监测和评估结果，确定并发布野生动物重要栖息地名录。”

《湿地保护法》第十二条规定“国务院自然资源主管部门应当会同国务院林业草原等有关部门定期开展全国湿地资源调查评价工作，对湿地类型、分布、面积、生物多样性、保护与利用情况等进行调查，建立统一的信息发布和共享机制。”

《海洋环境保护法》第二十三条和第三十六条分别做出如下规定：“国务院自然资源主管部门组织开展海洋资源调查和海洋生态预警监测，发布海洋生态预警监测警报和公报。”

“国家加强海洋生物多样性保护，健全海洋生物多样性调查、监测、评估和保护体系，维护和修复重要海洋生态廊道，防止对海洋生物多样性的破坏。”

本标准的内容与相关法律法规的要求均一致，且未有相违背的内容，同时本标准相关内容的执行也完全符合相关法律法规的程序要求。《野生动物保护法》鼓励和支持开展野生动物科学研究与应用；禁止违法猎捕、运输、交易野生动物，禁止破坏野生动物栖息地。要求对野生动物及其栖息地状况的调查、监测和评估应当包括：野生动物野外分布区域、种群数量及结构；野生动物栖息地的面积、生态状况；野生动物及其栖息地的主要威胁因素；野生动物人工繁育情况等其他需要调查、监测和评估的内容。《湿地保护法》支持开展湿地保护科学技术研究开发和应用推广，加强湿地保护专业技术人才培养，提高湿地保护科学技术水平。要求县级以上人民政府应当加强对国家重点保护野生动植物集中分布湿地的保护。《海

洋环境保护法》鼓励、支持海洋环境保护科学技术研究、开发和应用，促进海洋环境保护信息化建设，加强海洋环境保护专业技术人才培养，提高海洋环境保护科学技术水平。支持加强规划、标准、监测等监督管理制度的衔接协调。要求各级人民政府及其有关部门应当加强海洋环境监督管理能力建设，提高海洋环境监督管理科技化、信息化水平。鼓励加强海洋生物多样性保护，健全海洋生物多样性调查、监测、评估和保护体系，维护和修复重要海洋生态廊道，防止对海洋生物多样性的破坏。《自然保护区条例》规定禁止任何人进入自然保护区的核心区。因科学研究的需要，必须进入核心区从事科学研究观测、调查活动的，应当事先向自然保护区管理机构提交申请和活动计划，并经自然保护区管理机构批准；其中，进入国家级自然保护区核心区的，应当经省、自治区、直辖市人民政府有关自然保护区行政主管部门批准。

（二）与现行保护行动计划的关系

农业农村部 2017 年发布的《中华白海豚保护行动计划（2017—2026）》指出“我国中华白海豚的基线信息尚不完整掌握。各级政府对中华白海豚保护重视不够、投入不足，中华白海豚的保护与管理尚缺乏可操作性的技术与规范，管护水平有待提升。”“建立和完善我国中华白海豚的监测、评估、预警、救护和公众宣传工作体系，较为完整地掌握中华白海豚种群现状、威胁以及未来变化趋势等基础信息。”“持续开展保护优先区域的中华白海豚种群调查与评估得到进一步落实，并实施有效监控。”“加强中华白海豚物种及其栖息地保护的顶层设计，加快完善中华白海豚保护的规划、标准及管护等制度体系建设，发布中华白海豚重要栖息地名录。”“在目前中华白海豚研究和保护行动所获基线信息的基础上，将我国中华白海豚种群分为四个区域，包括福建、广东潮州至阳江、广东湛江至海南、广西，通过船只现场调查，获取每个区域的种群数量、种群分布、季节性变化、栖息时间、活动范围、行为学特征等种群生态资料。”“各相关职能部门要进一步提高中华白海豚调查、评估和监测预警能力，提升自然保护区的管护能力，加强队伍建设和人才培养，提高执法能力和水平。”

（三）与现行行业标准的关系

我国目前尚未有国家标准或行业标准涉及到中华白海豚种群调查，包括 PAM 调查。涉及到水生哺乳动物迁地保护、饲养和医疗，以及栖息地生态环境与鱼类资源的主要行业标准有：《长江江豚迁地保护技术规范》（SC/T 9609-2020）、《水族馆水生哺乳动物饲养水质》（SC/T 9411-2012）、《水族馆水生哺乳动物驯养技术等级划分要求》（SC/T 9410-2012）、《水生哺乳动物谱系记录规范》（SC/T 9409-2012）、《水生哺乳动物饲养设施要求》（SC/T 6073-2012）、《水生哺乳动物医疗记录规范》（SC/T 9607-2018）、《鲸类运输操作规程》（SC/T 9608-2018）、《白鲸饲养规范》（SC/T 9603-2018）、《水生生物湿地类型划分》（SC/T 9601-2018）、《水生动物疫病流行病学调查规范》（SC/T 7018-2022）、《水产种质资源保护区划定与评审规范》（SC/T 9428-2016）、《海洋牧场监测技术规范》（SC/T 9112-2023）、《渔业生态环境监测规范 第 2 部分：海洋》（SC/T 9102.2-2007）等。

本标准编制的合作单位中国科学院水生生物研究所于 2014 年联合港珠澳大桥管理局编

制了《港珠澳大桥工程水域中华白海豚声学驱赶(保护)技术规程(试行)》(HZMB/SC/RG/0)(港珠澳桥安[2014]55号),但其中未涉及中华白海豚种群调查。

(四) 与现行强制性标准的关系

目前尚未有与本标准有关的强制性标准。

五、标准调研、研讨、征求意见情况

(一) 标准调研、研讨、征求意见情况

编制单位和协作单位共同组成的编制团队在广东珠江口水域长期开展中华白海豚声学研究和 PAM 调查工作,建立和发展了 PAM 调查技术体系,建立了中华白海豚 PAM 调查平台,包括定点 PAM 阵列和移动 PAM 平台,获得了中华白海豚种群 PAM 监测数据。编制团队发表了较系统的学术论文,获得了多项发明专利,编制完成了一系列 PAM 调查报告。

在启动编制本标准前,编制团队系统收集和整理了相关专业文献、发明专利和调查报告,并对现有的水生哺乳动物行业标准进行了检索和梳理,组织专业人员开展技术研讨。在以上工作基础上,编制团队编制了标准初稿,并于 2024 年 6 月向广东省湿地保护协会提交了立项申请。2024 年 8 月,广东省湿地保护协会召开专家论证会,通过了项目立项申请;经公示等公开程序后,本标准编制被列入“2024 年度广东省湿地保护协会团体标准计划项目表”,计划编号为“T/GWCA002-2024”。2024 年 10 月,广东省湿地保护协会与本标准编制牵头单位签订了“团体标准制修订项目任务书”。按照“项目任务书”要求,编制工作进入到“征求意见稿”和“编制说明”的编制阶段。

2024 年 9~11 月,编制团队按照专家论证会意见修订了规程内容,并编制了本“编制说明”。本阶段的主要修订内容包括:将标准的题目(“基于被动声学监测的中华白海豚种群调查技术规程”)修改成“中华白海豚声学调查技术规程”;明确了部分技术参数指标(例如被动声学监测应监测到 1.0 km 以上范围内中华白海豚声呐信号);对部分结构进行了梳理,包括调查方案设计、数据收集、数据处理、报告编制等。

2024 年 11 月 26 日编制团队通过会议形式征求了中华白海豚生态学、生物声学及湿地保护专家意见。专家认为编制本标准是非常必要和急迫的,本标准的技术内容是合适的,但需要对 $g(0)$ 进行核实。

2024 年 12 月编制团队根据会议专家建议对本标准的部分内容和“编制说明”进行了修订和补充,包括:基于已发表的论文并参考编制团队的海上调查结果,对 $g(0)$ 值进行了认真核实,仍然保留 $g(0)=0.75$;补充了国内外的参考文献,其中不仅涉及到中华白海豚的截线抽样调查和 PAM 调查技术,还涉及到其他小型鲸类的截线抽样调查和 PAM 调查技术。

2024 年 12 月 31 日,编制单位向广东省湿地保护协会提交规程“征求意见稿”和本“编制说明”。

(二) 标准中技术指标的确定依据

(1) 设备的频率响应和存储指标

针对中华白海豚生物声学特征,尤其是声呐信号的物理特征,已经开展了较丰富的研究。结果表明,中华白海豚能发出哨叫声和回声定位信号。中华白海豚哨叫声的时频特征为:持续时间 $370.2\text{ ms} \pm 285.61\text{ ms}$ (变化范围为 $29\text{ ms} \sim 2,923\text{ ms}$); 基础频率 $0.52\text{ kHz} \sim 33\text{ kHz}$, 谐波个数为 1.90 ± 2.74 , 最大谐波频率可达 96 kHz 。回声定位信号的时频特征为:峰间源水平变化范围为 $177.1\text{ dB} \sim 207.3\text{ dB}$, 平均 $187.7 \pm 5.1\text{ dB re } 1\text{ }\mu\text{Pa}$; 平均峰值频率为 109.0 kHz (变化范围为 $96.8\text{ kHz} \sim 117.3\text{ kHz}$); -3 dB 带宽为 50.3 kHz (变化范围为 $30.9\text{ kHz} \sim 78.2\text{ kHz}$); 95%能量持续时间为 $22\text{ }\mu\text{s} \pm 4\text{ }\mu\text{s}$ (变化范围为 $15.0\text{ }\mu\text{s} \sim 31.0\text{ }\mu\text{s}$); 相邻脉冲之间的间隔为 $13.5\text{ ms} \sim 104.5\text{ ms}$ ($30.6\text{ ms} \pm 17.1\text{ ms}$)。这些参数是识别中华白海豚哨叫声和声呐信号的最重要依据。

考虑到调查船自身的水下噪声以及调查水域的自然和人为水下噪声(比如风浪、船舶航运等)的干扰,在 PAM 调查中通常需要设置声信号滤波,即带通滤波器,将中华白海豚声信号之外的低频和高频噪声滤除,同时对较弱的声信号进行放大增强。在 PAM 调查中,传输和记录的声信号数据量非常大,达到 $2 \times 500\text{ kb/s}$ 或更大,对记录媒介固态硬盘的存储空间和读写速度有较高要求。

为了完整地监听和记录中华白海豚声信号,编制团队基于相关文献列出的技术参数和海上调查的实际情况,在标准中对 PAM 设备的频率响应和存储容量等提出了要求。

用于接收水下声信号的水听器阵列的响应频率宜为 $100\text{ Hz} \sim 170\text{ kHz}$ ($\pm 3\text{ dB re } 1\text{ V}/\mu\text{Pa}$)。

用于声信号记录和分析的模数和数模转换卡的采样率宜为 500 kHz , 16 bit 。

水听器阵列的接收灵敏度宜为 $-160\text{ dB re } 1\text{ V}/\mu\text{Pa} \sim -190\text{ dB re } 1\text{ V}/\mu\text{Pa}$, 在其响应频率范围内的灵敏度波动范围宜为 $\pm 3\text{ dB re } 1\text{ V}/\mu\text{Pa}$ 。

带通滤波宜为 $1\text{ kHz} \sim 150\text{ kHz}$ 可调带通滤波,并宜附加级差为 $3\text{ dB} \sim 5\text{ dB}$ 的前置放大器,增益范围宜为 $5\text{ dB} \sim 150\text{ dB}$ 可调,频率响应宜为 $100\text{ Hz} \sim 170\text{ kHz}$ 。

本地存储器宜为容量 $2\text{ T} \sim 4\text{ T}$ 的固态存储器,连续读和写数据的速度宜分别为 $3,000\text{ MB/s} \sim 3,700\text{ MB/s}$ 和 $2,000\text{ MB/s} \sim 2,600\text{ MB/s}$ 。

(2) 设备的时间分辨力和记录与显示内容

基于所记录到的中华白海豚声信号分析中华白海豚的数量,需要解析中华白海豚声信号的方向,借助 2 台水听器即可完成,所以 PAM 调查所用的水听器阵列应包括 2 台水听器。中华白海豚发出的同一个声信号到达 2 台水听器的时间差是判断中华白海豚所在方位和数量的重要依据,一连串相邻的声信号到达 2 台水听器后会形成了 1 个完整的时间差序列,构成了 1 头中华白海豚的声信号轨迹。当出现多个完整的时间差序列时,即可判断中华白海豚的数量,这一技术已经在中华白海豚和其他几种小型鲸类 PAM 调查中得到充分验证。在此过程中基于所记录声信号的强度可以反推出声信号的距离,即声信号在水中传播一段距离后,其强度发生衰减,水听器阵列所记录的强度是声信号经传播衰减后的强度,而传播的距离即为中华白海豚所在位置。以上一系列过程是 PAM 设备自动完成的,中华白海豚的数量、方位角和距离会被连续自动记录并用于后续中华白海豚种群数量估算。项目团队基于文献中的技术原理和参数,并结合海上调查过程与结果,在本标准中对这部分设备提出了具体的要求。

同一个水下声信号到达 2 个水听器的时间差宜为 $50\ \mu\text{s}\sim 200\ \mu\text{s}$ ，2 个水听器之间的距离宜为 $7.5\ \text{cm}\sim 35\ \text{cm}$ 。

调查中记录和显示的信息宜包括所在区域的地图、航行时间和位置、航行速度、预设调查航线和航行轨迹、监测到中华白海豚的时间和位置列表、监测到中华白海豚的数量等。

(3) 信号和数据传输网络

编制团队基于海上调查的实际情况，并充分考虑到 PAM 调查船在海上航行期间手机信号网络的不稳定性，在本标准中建议在调查船上自建有线局域网络，用于设备之间的数据传输。PAM 调查船与陆上数据中心之间的远距离网络连接依托商用手机信号网，并且主要用于调查期间基本数据的传输，传输的数据量较小。本标准对调查期间的数据传输网络提出了如下要求。

调查船上设备之间的连接宜采用有线局域网络连接，数据传输速度宜为 $500\ \text{Mbps}\sim 1,000\ \text{Mbps}$ ；或采用通用型 USB 3.0 通讯接口连接，数据传输速度宜为 $500\ \text{Mbps}\sim 1,000\ \text{Mbps}$ 。

调查船与陆上数据中心之间的远距离连接宜采用商用 4G/5G 无线网络连接，速度宜为 $100\ \text{Mbps}\sim 500\ \text{Mbps}$ 。

(4) 水下噪声的控制和减缓

考虑到 PAM 调查期间水下噪声对中华白海豚声信号的记录和识别具有不利影响，因此本标准要求在 PAM 调查中应充分考虑天气海况和调查船航行噪声对调查结果的不利影响，并建议通过多项措施减缓这些噪声，包括选择适航天气和海况、降低调查船自身噪声和控制航行的速度等。基于相关文献中的技术参数和编制团队海上调查的实际经历，本标准对以上情形提出了具体要求。

调查宜在“蒲福风力等级”不超过 4 级（见附录 B），或国家海事局“海面上风力等级”不超过 4 级（见附录 C），且水下噪声水平不超过 $130\ \text{dB re } 1\ \mu\text{Pa}$ 的海况下实施。

调查实施期间，调查船辐射噪声对水下噪声的贡献量宜不超过 $35\ \text{dB re } 1\ \mu\text{Pa}$ 。

调查船正常航行速度宜为 $7\ \text{kn}\sim 9\ \text{kn}$ （约 $13\ \text{km/h}\sim 17\ \text{km/h}$ ）。

(5) 水听器阵列的安全保障

调查期间，水听器阵列始终拖曳于调查船的尾部。由于设备自身的重量，在非航行时是沉入水底的，但是在航行时受到调查船的牵引，设备会始终漂浮在水层中。为了保证水听器阵列的安全，避免设备在海床上拖拽受损，或者被船舶螺旋桨冲击而损坏，调查船在航行过程中应设置最低航行速度，并不得倒车或突然减速。水听器阵列通过信号电缆与调查船上的设备保持硬件连接和数据传输，与信号电缆并行的安全缆绳是保证水听器阵列安全的最重要组件，在调查船航行过程中应避免安全缆绳被损坏。基于编制团队的实际工作经历和经验，本标准对这些安全事项提出了具体要求。

在布放和回收调查船尾部的拖曳被动声学监测设备期间，调查船的航行速度宜分别为 $7\ \text{kn}\sim 9\ \text{kn}$ （约 $13\ \text{km/h}\sim 17\ \text{km/h}$ ）和 $5\ \text{kn}\sim 7\ \text{kn}$ （约 $9\ \text{km/h}\sim 13\ \text{km/h}$ ）。

当拖曳被动声学监测设备在水中时，调查船不应停车、倒车或突然减速至低于 $5\ \text{kn}$ （约 $9\ \text{km/h}$ ）。

水听器阵列及与之连接的线缆和安全缆绳应牢固地固定于调查船尾部的永久性设施上。

水听器阵列宜拖曳于船尾 40 m~80 m，宜距离水面 50 cm~100 cm。

水听器阵列的尾部宜固定 1 根防抖尾缆，其长度宜为 2 m~3 m。

水听器阵列的线缆应预留 3 m~5 m 的缓冲长度，并延伸到调查船船舱内。

(6) 调查航线的设计

中华白海豚种群数量调查的方法之一是截线抽样法，该方法已经在珠江口等东南沿海水域多次成功应用于中华白海豚种群调查，并且在其他水域也成功应用于多种小型齿鲸种群数量调查。采用 PAM 调查中华白海豚数量在调查航线的设计方面主要参照截线抽样法，一是基于中华白海豚栖息水域特点（比如水深）布局航线；二是航线长度、航线间距等应符合中华白海豚活动特点；三是航线的数量、总长度和单日航线长度应基于合适的连续航行时间、合适的连续调查时间和合适的人力投入确定，应充分考虑资源投入与科学数据产出比。在调查航线设计阶段，应了解调查区域的水底地形和水深，并基于此估算调查水域的有效面积，即调查期间水深 3 m~20 m 的水域面积。基于文献中不同水域的调查实例和编制团队海上调查实际经验，本标准中列出了调查航线设计的具体要求。

调查航线应覆盖全部调查区域，并宜规划在有效水域范围内。

调查航线宜连续规划，航线不宜中断。

调查航线应明确标示出航线的起点、转折点和终点。

在航行条件较差的水域，或者在调查范围较狭窄的水域，宜规划单独的调查航线。

规划航线上应标出每个调查工作日的调查起点和调查终点。

每个调查工作日的规划调查航线长度宜 100 km~120 km。

在 100 km² 的开阔水域宜规划长 40 km 的调查航线，其中与海流垂直方向累计长 30 km，相邻航线之间相距 5 km；与海流平行方向累计长 10 km。

宜每年开展 4 次调查，每次调查的持续天数应根据调查航线的长度而定。

每天的调查时长宜 8 h，且中途不停止，次日的调查的起始点为前一日调查的停止点。

调查船沿着规划的航线航行，除布放和回收拖曳被动声学监测设备的时段外，其余时段的航行速度宜为 7 kn~9 kn（约 13 km/h~17 km/h）。

调查船应遵循海上航行规则和安全规则，并及时避让水面障碍物和其他航行船舶。

(7) 调查人员数量和船舶航行速度

调查人员的数量、调查船舶航行速度控制等参照截线抽样法的要求并结合编制团队海上 PAM 调查的实际情况做出了规定。航行人员的数量重点是考虑航行安全的需要，而 PAM 调查所需人员数量少于常规的截线抽样法，因为 PAM 调查中主要是保证 PAM 设备正常运行，保障水下设备和调查船上设备的安全，并不需要对中华白海豚进行持续观察。调查船舶航行速度主要是基于降低船舶自身噪声需要而提出了要求。

航行中应充分保证调查人员、调查设备和调查数据的安全。

调查期间，调查船上宜安排 4~6 人开展调查工作，其中 2~3 人负责调查船航行及船舶安全，2~3 人负责被动声学调查及声学设备安全。

航行人员和调查人员各自循环轮班，每 1 h 替换 1 人，保证航行和调查工作各有 2 人在岗。

当班航行人员负责保持船舶航行速度稳定、海上航行安全和后勤支撑。

当班调查人员负责船舶沿规划航线航行、声学设备正常工作，并辅助海上观察和纸质数据记录等。

(8) 调查人员培训和海上实习

基于编制团队的海上调查工作经历和经验，对未曾参加过 PAM 调查的人员，有必要开展 1 h~2 h 岗前培训和不少于 2 h~3 h 海上实习，重点传授中华白海豚基础生物声学、生态学和 PAM 调查的基本原理与海上调查的重点注意事项等。

首次参加调查的航行人员和调查人员应接受 1 h~2 h 理论和技术培训，以及不少于 2 h~3 h 海上操作实习。

理论和技术培训的主要内容包括中华白海豚生物声学和生态学习性（见附录 A）、被动声学调查的基本原理、调查设备的组成和操作记录方法（见附录 D）、调查程序、数据分析和结果呈现，以及设备常见故障排除和调查期间的安全事项等。

海上操作实习的主要内容包括航线规划、设备连接、设备操作、设备维护、航行安全、设备安全、数据记录等。

(9) 调查期间的工作内容和安全应急事项

基于编制团队海上调查的实际经历和经验，以及 PAM 调查的主要目的，即估算调查水域中华白海豚的种群数量，以及调查中具有较高风险的的安全和应急事项，本标准规定了调查期间调查人员应执行的工作内容，提出了应对可能出现的安全和应急事项的建议。

被动声学监测系统启动后即自动运行。

调查人员应观察声学监测系统显示的以下信息是否正常：时间、位置、航速、航迹、中华白海豚声学监测结果、数据存贮、网络数据传输、电源保障等。

调查人员应观察海面障碍物、过往船舶和渔业等人为活动是否影响调查船航行安全及船尾拖曳声学设备的安全。

调查人员应观察可能现于海上的中华白海豚及其他鲸类群体。

若调查设备出现故障或风险，应暂停调查并排除故障或规避风险，直至设备故障排除或风险解除后重启调查。

若天气和海况条件超过了“蒲福风力等级”4 级（见附录 B），或超过了国家海事局“海面上风力等级”4 级（见附录 C），应暂停调查，直至天气和海况条件符合调查要求再重启调查。

调查暂停时应及时将拖曳水听器阵列、GPS 天线和 4G/5G 天线等船舱外设备回收并放置于船舱内。

(10) PAM 调查 $g(0)$ 值设定

在中华白海豚的截线抽样调查中， $g(0)$ 值被设定为 1，即在调查航线上全部的中华白海豚均被观察和记录到，并且调查船不影响中华白海豚躲避行为。常见的瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）PAM 调查的 $g(0)$ 值为 0.83，对多种其他小型齿鲸 PAM 调查的 $g(0)$ 值为 0.80 或更高。编制团队在海上调查中观察到，调查水域通常是近岸水域，航行船舶较多，水下噪声较强，并且 PAM 设备离船较近（基于水听器阵列安全考虑），船舶自身噪声对 PAM 调查有一定影响，尤其是对调查船附近分布的中华白海豚有一定驱离效应。在结合其他学者的研究成

果和编制团队海上调查的实际结果的基础上, 本标准将 $g(0)$ 值设定为 0.75。

宜设定 $g(0)=0.75$, 即在调查航线上被动声学监测系统监测到中华白海豚出现的概率为 75%。

(11) PAM 调查航线宽度设定

调查过程中接收中华白海豚声信号的设备是拖曳在船尾的水听器阵列, 其记录过程中受水下噪声强度、中华白海豚方向和距离等影响。结合水听器阵列的灵敏度和编制团队海上调查中所记录的中华白海豚声信号强度, 以及声信号在海水中的衰减与传播距离的关系, 并参考针对中华白海豚声信号源强和衰减的诸多研究成果, 本标准设定水听器阵列的最有效记录半径为 0.3 km, 即在水听器阵列左侧和右侧各 0.3 km 范围内的中华白海豚记录被纳入中华白海豚种群数量分析中, 在此范围之外的中华白海豚记录将不用于种群数量分析。基于此计算调查航线的有效面积 (A_{nx}), 即调查航线的长度 (L_{nx}) 与调查航线的有效宽度 ($W_{eff}=600$ m) 之积。

采用以下公式计算调查航线的面积:

$$A_{nx} = L_{nx} \times W_{eff} \quad (1)$$

式中:

A_{nx} ——调查航线面积 (km^2);

L_{nx} ——调查航线长度 (km);

W_{eff} ——被动声学监测的有效监测幅宽 (km), 取 0.6 km 。

(12) 中华白海豚种群数量估算

在航线上 PAM 调查到中华白海豚的数量为 N_{nx} , 将其与 $g(0)$ 相除即可得出调查航线上中华白海豚数量的理论值, 即 $N_{nx}/(g(0))$ 。将该值与调查航线的有效面积 A_{nx} 相除, 即可得出调查航线上中华白海豚的理论密度。将理论密度与调查区域的总面积相乘(基于卫星影像测量), 即可得出中华白海豚的种群估计数量。

采用以下公示计算中华白海豚种群理论密度:

$$D_{nx} = \frac{N_{nx}}{g(0) \times A_{nx}} \quad (2)$$

式中:

D_{nx} ——中华白海豚种群理论密度 ($ind./km^2$);

N_{nx} ——在航线有效区域内监测到中华白海豚数量 ($ind.$);

$g(0)$ ——在航线上监测到中华白海豚的概率, 取 0.75;

A_{nx} ——调查航线的有效面积 (km^2)。

采用以下公示计算中华白海豚种群估计数量:

$$P_{nx} = D_{nx} \times A_{tnx} \quad (3)$$

式中:

P_{nx} ——中华白海豚种群估计数量 ($ind.$);

D_{nx} ——中华白海豚种群理论密度 ($ind./km^2$);

A_{tnx} ——调查水域的总面积 (km^2)。

(13) 调查报告编制

调查报告的编制是 PAM 调查结果的汇总。一方面要体现调查过程的完整性；另一方面要体现调查结果的可靠性。调查报告由调查团队技术人员负责编写，并需要经过技术负责人审核和审定。

宜在调查工作结束后 2 周内完成调查报告，并以调查报告为主呈现调查结果。

调查报告属于技术性报告，应由调查团队主要技术负责人组织编写，并由技术负责人审定。

调查报告应经调查人员、编写人员、审定人员签字后留存或提交到调查委托部门。

调查报告宜包含免责声明、知识产权保护条款，以及调查报告主要内容的使用方式等。

调查报告应包括前言、调查时间、调查水域、调查技术及方法、设备组成、调查人员、调查工作量、所获得数据量、数据分析方法、调查结果等内容。

调查报告宜经过 2 位~3 位业内专业人士审核和修订后定稿。

(14) 设备维护和数据管理

设备维护和数据管理是 PAM 调查工作结束后应开展的工作，主要是保证设备正常和安全，以及调查原始数据安全和备查。

每天的调查工作结束后，应对设备进行清理和清洁，对线缆等附属设施进行维护和检查。

设备应妥善放置在安全空间，电源应分开放置。

每次使用后应及时填写设备安全和维护记录表，并签名和填写日期。

一旦出现设备故障，应及时维修，并填写维修记录。

宜不定期更新设备的软件，更换线缆和接口，定期更换电源。

数据分为电子数据和纸质数据。

电子数据为标准文本文件，字段之间用分号(;)隔开，第 1 行为字段名称，从第 2 行开始为数据内容。

纸质数据为填写后的中华白海豚声学调查记录表（见附录 D），每一份表格应有单独的编号，每次考察的纸质数据记录表应连续编号。

电子数据内容是被动声学监测系统的自动记录，主要是每 1 s 的航行状况和水下声信号状况，以及声学监测到中华白海豚的时空信息和种群信息等。

纸质数据内容（见附录 D）宜包括调查日期、调查起止时间、天气和海况、调查和航行人员、声学设备状态及调整、监测到中华白海豚的时间和位置、监测到中华白海豚的数量及群体离船距离、中华白海豚行为和游动方向，以及海上航运等人为活动等。

电子数据记录应至少在不同计算机上备份 2 份。

纸质数据记录应保留 1 份原件、1 份复印件和 1 份电子表格数据。

电子数据和纸质数据相互验证。

全部数据除在服务器上保存外，还应进行备份保存。

(三) 重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

本文件制订过程中无重大分歧意见。

（四）专家审定会情况

尚未召开。

六、标准有何先进性或特色性

《标准化法》第十三条规定“为满足地方自然条件、风俗习惯等特殊技术要求，可以制定地方标准。”广东省是中华白海豚种群分布最重要的省份，我国大部分中华白海豚种群分布在广东省沿海，并且广东省沿海也是全球中华白海豚最大种群的栖息水域。因此，广东省率先组织编制和发布中华白海豚声学调查技术规程，完全符合《标准化法》中“满足地方自然条件”的规定。中华白海豚栖息在近岸河口水域，广东珠江口水域是全球中华白海豚最重要的栖息地，先后被列为国家重要湿地和国家级自然保护区。编制和发布中华白海豚声学调查技术规程，并引导针对珠江口水域的中华白海豚种群调查，不但能在广东省内外发挥重要的技术示范效应，而且还可以在全球中华白海豚声学调查中起到重要的引领作用。

七、贯彻标准的要求和措施建议

首先以广东珠江口中华白海豚国家重要湿地(广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区)为宣贯单位，开展标准宣贯和应用；其次以广东省内的江门、湛江等中华白海豚自然保护区为重点宣贯单位，推广标准应用。组织广东省内外应用单位和潜在应用单位的技术人员召开应用交流会，逐步向福建、海南、广西等省区中华白海豚自然保护区和重要栖息地推广应用本项技术标准，总结全国应用技术成果。在以上推广应用和技术总结的基础上对本项标准进行必要的修订和升级，适时推动编制和发布国家行业标准及国家标准。

八、其他应予说明的事项

无。