海洋测绘中测深技术的探索

于向珂

上海科之锐人才咨询有限公司天津第一分公司　天津　300350

摘　要：海洋测深是海洋测绘的基础内容，其技术发展直接关系到水下地形获取的精度与效率。本文在梳理海洋测深技术发展脉络的基础上，分析了单波束测深、多波束测深、侧扫声呐、机载激光测深等主要技术手段的原理、特点与适用条件，探讨了不同技术在近岸、深水、复杂地形等场景下的应用要点，并就测深数据处理、质量控制及技术融合趋势进行了讨论。研究认为，多种测深手段的协同应用与数据融合，是提升海洋测深整体效能的重要方向。

关键词：海洋测绘；测深技术；单波束；多波束；激光测深

引言：海洋测深是获取海底地形地貌的基础性工作，广泛应用于航道疏浚、港口建设、海底管线敷设、资源勘探等领域。随着海洋开发活动日益频繁，对测深精度、覆盖范围与作业效率的要求不断提高。传统单波束测深虽操作简便，但效率较低，难以满足大范围高精度测量需求。多波束、侧扫声呐、机载激光等技术的出现，为不同场景下的测深作业提供了多样化选择。本文对海洋测深主要技术进行梳理与分析，探讨其应用要点与发展方向，以期为海洋测绘实践提供参考。

1 海洋测深技术概述

1.1 海洋测深的基本概念与任务

海洋测深是指通过声学、光学等手段，测定水体底部相对于某一基准面的深度，并据此绘制水下地形图的过程。其基本任务包括：获取海底点位的深度数据，描述海底地形起伏特征，为海洋工程建设、船舶航行安全、资源开发等提供基础地理信息。测深成果通常以水深图、海底地形图、三维地形模型等形式呈现，精度要求因应用场景而异。

1.2 测深技术的发展历程

海洋测深技术经历了从人工测深到声学测深、从单波束到多波束、从船载到机载的演变过程。早期采用测深锤、测深杆等人工方式，效率低、精度有限。20 世纪中期，单波束回声测深仪得到广泛应用，实现了连续走航测量。多波束测深系统问世，能够一次性获取沿航迹垂直方向多个波束的深度数据，大幅提升覆盖效率。近年来，机载激光测深、无人船测深等新技术不断涌现，进一步拓展了测深作业的应用范围。

1.3 测深技术的主要分类

按测量平台可分为船载测深、机载测深、无人平台测深等；按工作原理可分为声学测深、光学测深、激光测深等；按波束数量可分为单波束测深与多波束测深。各类技术在不同场景下各有优势，实际作业中常根据任务需求、水域条件、精度要求等因素综合选用[1]。

2 主要测深技术及其应用

2.1 单波束测深技术

单波束测深利用换能器向水下发射声波，接收海底反射回波，根据声波往返时间计算水深。该技术设备简单、操作方便、成本较低，适用于浅水区、内河、航道等场景的常规测深。其工作原理决定了每次仅能获取一个波束的深度数据，覆盖宽度有限，测量效率较低，难以满足大范围高密度测量需求。在复杂地形区域，单波束测深可能因波束覆盖不足而遗漏地形细节，如礁石、沟槽等局部特征。尽管如此，单波束测深仍是浅水常规测量与多波束校验的重要手段，在精度要求不高的场景中具有不可替代的实用价值。

2.2 多波束测深技术

多波束测深系统通过发射扇形声波，一次性获取沿航迹垂直方向多个波束的深度数据，形成一定宽度的测深条带。该技术覆盖效率高、分辨率强，能够精细刻画海底地形起伏，广泛应用于深水区、航道、港口、海底管线路由等测量任务。多波束测深对定位精度、姿态补偿、声速剖面校正等要求较高，数据处理流程相对复杂，需要专业人员操作与解释。在实际作业中，需根据水深、地形复杂度合理设置波束角、航速与测线间距，兼顾覆盖效率与数据质量，确保成果满足精度要求。

2.3 侧扫声呐技术

侧扫声呐通过向两侧发射声波，接收海底反射信号，生成海底地貌图像。该技术主要用于探测海底目标物、识别底质类型、发现水下障碍物等，常与多波束测深配合使用。侧扫声呐不直接提供深度数据，但能够直观反映海底表面特征，为测深成果的解释与校验提供辅助信息[2]。在沉船探测、管线巡检、地质灾害调查等任务中，侧扫声呐具有独特优势，能够发现多波束可能忽略的细小目标。其图像判读需要一定经验，对操作人员的专业能力有一定要求。

2.4 机载激光测深技术

机载激光测深利用激光束穿透水体，分别接收水面与海底反射信号，计算水深。该技术适用于浅水区、岛礁周边、难以通航水域的快速测量，具有机动性强、覆盖速度快的特点。其测深能力受水体透明度、水质条件影响较大，通常适用于一定深度范围内的浅水测量，浑浊水体中激光衰减快，测深能力明显下降。机载激光测深常与船载测深配合，形成空水协同的测量模式，发挥各自优势，提升整体测量效率与覆盖范围。

2.5 无人船测深技术

无人船测深将单波束或多波束测深系统搭载于无人平台上，适用于危险水域、浅水区、狭窄航道等场景。该技术可降低人员作业风险，提高测量灵活性，尤其适用于传统测量船难以进入的区域，如礁石区、浅滩、污染水域等。无人船测深对通信链路、自主导航、姿态稳定等有较高要求，目前仍在不断发展完善中。随着平台稳定性与载荷能力的提升，无人船测深的应用范围将进一步拓展，成为常规测深手段的重要补充。

3 测深数据处理与质量控制

3.1 测深数据的预处理

测深数据预处理包括数据格式转换、坐标系统一、时间同步、姿态校正、声速改正等环节。格式转换将不同设备原始数据统一为通用格式，坐标统一确保各测深点位于同一空间基准下，时间同步匹配定位、姿态、测深等不同来源数据，姿态校正消除船只摇动对波束指向的影响，声速改正修正声波传播速度变化引起的深度误差。多波束数据还需进行波束编辑、噪声剔除、底检测等处理，剔除异常波束与干扰信号。预处理旨在消除系统误差与随机误差，为后续成果制作提供干净可靠的数据基础，其质量直接影响最终测深成果的精度与可信度。

3.2 测深数据的处理与成图

测深数据处理包括水深改正、数据滤波、网格化、等深线生成、地形模型构建等内容。水深改正将原始测量深度归算至统一基准面，消除潮位、吃水等因素影响。数据滤波用于剔除残余噪声与孤立异常点，保留真实地形信号。网格化将离散测深点转换为规则网格，便于分析与成图。等深线生成与地形模型构建则直观展示海底起伏特征。处理过程中需根据任务要求选择合适的网格间距与插值方法，兼顾精度与效率，网格过密增加计算量，过疏则损失地形细节[3]。成图成果应清晰反映海底地形特征，满足不同用户的使用需求。数据处理软件的选择与参数设置对成果质量有重要影响，操作人员应具备相应专业能力，熟悉软件功能与处理流程。

3.3 测深成果的质量控制

质量控制贯穿测深作业全过程，包括设备校准、现场校验、数据检查、成果审核等环节。设备校准应在作业前完成，确保系统处于正常工作状态，校准记录应完整保存。现场校验可通过交叉测线、重复测量等方式进行，检查数据一致性，发现系统性偏差及时纠正。数据检查应关注异常值、空白区、地形突变等问题，对可疑区域进行标注与复核。成果审核应对照任务要求，检查精度、覆盖范围、图面质量等是否达标，确保成果满足使用需求。质量控制应贯穿从外业采集到内业处理的全过程，各环节均应有明确的责任人与检查标准，形成完整的质量记录，为成果可信度提供保障。

4 测深技术的应用要点

4.1 近岸浅水区测深

近岸浅水区地形复杂、水深变化大，测深作业难度较高。单波束测深适用于常规浅水测量，设备简单、操作灵活，能够满足一般精度要求。多波束测深可提供更高覆盖效率，一次走航即可获取条带内多个波束的深度数据，适合较大范围的浅水区测量。在极浅水域，测量船难以进入，可考虑采用无人船或机载激光测深，前者机动灵活，后者覆盖速度快。近岸测深需关注潮位变化、波浪影响、船只吃水等因素，合理设计测线与作业时段，避开不利天气与潮汐条件，确保数据质量与作业安全。

4.2 深水区测深

深水区测深主要采用多波束测深系统，需关注声速剖面变化、姿态补偿、定位精度等问题。声速在水中随温度、盐度、深度变化，直接影响波束传播路径与深度计算，作业前应实测声速剖面并定期更新。姿态补偿用于消除船只横摇、纵摇、艏摇对波束指向的影响，定位精度则决定测深点的平面位置准确性。深水作业对设备性能与人员操作水平要求较高，应做好充分准备与应急预案。测线布设应兼顾覆盖效率与数据质量，避免因航速过快导致数据缺失，

同时注意测线间距与重叠率的合理设置[4]。

4.3 复杂地形区测深

复杂地形区如礁石区、沉船区、海底管线密集区，测深作业需综合考虑多种技术手段。多波束与侧扫声呐配合使用，可同时获取深度数据与地貌图像，前者反映地形起伏，后者展示海底表面特征，二者互为补充。在障碍物密集区域，应降低航速、加密测线，确保数据完整，避免因波束遗漏造成地形空白。对疑似障碍物或管线位置，可结合潜水探摸等辅助手段进行验证，确认其性质与埋深。复杂地形区测深成果应加强质量检查，对异常区域进行重复测量或交叉验证，确保数据可靠。

4.4 特殊场景测深

在航道疏浚、港口建设、海底管线敷设等工程中，测深任务往往有特定精度与时效要求。应根据工程阶段与任务目标，选择合适的测深手段与作业方案。施工前测深用于掌握原始地形，为设计提供依据；施工中测深用于监控进度，指导施工调整；施工后测深用于验收比对，检验工程是否达标。各阶段测深成果应保持一致性与可比性，采用相同的基准、精度标准与数据处理方法，便于前后对比分析。同时，应根据工程需要合理安排测量频次，确保成果能够及时反映现场变化，满足工程管理的实际需求。

5 测深技术的发展趋势

5.1 多技术融合应用

单一测深技术难以满足所有场景需求，多技术融合成为发展趋势。多波束与侧扫声呐、单波束与多波束、船载与机载等组合方式，可发挥各自优势，提升测量效能。多波束提供高密度深度数据，侧扫声呐补充地貌纹理信息，单波束用于浅水校验，机载激光覆盖难达区域，各手段互为补充、相互验证。数据融合处理技术将不同来源的测深数据整合到统一框架下，通过坐标统一、误差配准、精度评估等环节，消除数据之间的矛盾与冗余，形成更完整、更可靠的地形成果，为后续应用提供一致的数据基础。

5.2 无人化与智能化

无人船、无人机等平台的应用，使测深作业更加灵活、安全，尤其适用于危险水域与浅窄航道。智能导航、自主避障、自动数据处理等技术的发展，正在推动测深作业向少人化、无人化方向演进，降低人员暴露风险与劳动强度。人工智能技术在底检测、噪声剔除、目标识别等环节的应用，有望提高数据处理效率与准确性，减少人工干预与主观误差。随着算法不断优化与算力持续提升，无人平台将具备更强的自主作业能力，实现从数据采集到成果输出的全流程自动化，进一步提升测深作业的整体效率与智能化水平。

5.3 高精度与高效率并重

随着海洋工程对测深精度要求的提高，测深技术正朝着高精度与高效率并重的方向发展。多波束系统的分辨率不断提升，波束数量增加、覆盖宽度扩大，能够更精细地刻画海底微地形。激光测深的深度能力逐步增强，适用范围从极浅水向中等深度水域拓展。数据处理速度持续加快，并行计算与自动处理技术缩短了从采集到成图的周期。如何在保证精度的前提下提高作业效率，是技术发展需要持续关注的课题，也是设备研发与作业组织共同面对的挑战。

5.4 数据集成与服务化

测深成果不再局限于单一图件，而是向数据集成与服务化方向发展。测深数据与水文、地质、生态等多源信息融合，通过统一平台进行管理，可为海洋综合管理提供更全面的支撑。在线服务、云端处理等模式，使测深成果能够更便捷地服务于各类用户，用户可按需获取水深、地形、底质等信息产品。服务化模式还支持数据实时更新与远程调用，提升成果的时效性与共享性，推动测深数据从静态成果向动态服务转变，更好地满足海洋工程建设与管理的多样化需求。

结束语

海洋测深技术是海洋测绘的重要基础，其发展水平直接影响水下地形获取的能力与质量。本文对单波束、多波束、侧扫声呐、机载激光、无人船等主要测深技术进行了梳理，分析了其原理、特点与适用场景，探讨了数据处理、质量控制及应用要点，并展望了多技术融合、无人化、智能化等发展趋势。实际作业中，应根据任务需求与水域条件，合理选用测深手段，注重数据质量与成果应用，不断提升海洋测深的整体效能，为海洋开发与保护提供可靠的基础地理信息支撑。

参考文献

[1] 曹广颂,潘宣宁,肖懿哲.海洋测绘中测深技术的探索 [J]. 科技资讯，2025，23(15):168-170.

[2] 王志彬.多波束技术在现代海洋测绘中的应用及系统算法分析 [J]. 粘接，2025,52(10):230-233.

[3] 周耿彬.机载激光雷达海洋测深信号提取方法研究 [J]. 测绘技术装备，2022，24(4):26-32.

[4] 黄植康.GPS 技术在海洋测绘中的应用探析 [J]. 建材与装饰，2025，21(14)：115-117.