

市场洞察：深海“5G”，水声通信如何重塑蓝色经济？

Briefing Report: Deep Sea “5G”, How Does Underwater Acoustic Communication Reshape the Blue Economy?

市場速報：深海「5G」，水中音響通信はブルーエコノミーをどう変えるのか？

报告标签：水下通信、水声通信、应用领域、发展趋势、竞争格局
2025年9月

Q1：什么是水下通信？水声通信为何能入选新质生产力技术？

- 水下无线通信是在水环境中通过无线载波传输数据的通信形式。载波通常为电磁波、光波和声波，对应分为水下电磁波通信、水下光通信和水下声通信（简称水声通信）

水声通信：其工作原理是将语音、文字或图像等信息转换成电信号，再由编码器进行数字化处理，然后通过水声换能器将数字化电信号转换为声信号。声信号通过海水介质传输，将携带的信息传递到接收端的水声换能器，换能器再将声信号转换为电信号，解码器再将数字信息解译后，还原出声音、文字及图片信息。

电磁波通信：是指用水作为传输介质，把不同频率的电磁波作为载波传输数据、语言、文字、图像、指令等信息的通信技术。

光学通信：水下激光通信技术利用激光载波传输信息。由于波长450nm~530nm的蓝绿激光在水下的衰减较其他光波段小得多，因此蓝绿激光作为窗口波段应用于水下通信。

- 由于水下通信特殊的性质、要求和难度，采用声波作为信息传送的载体是目前海中实现中、远距离无线通信的唯一手段

由于光波和电磁波在浑浊、含盐的海水中衰减严重，即使是衰减最小的蓝绿光波段，其传播损耗也高达约40dB/km，传播距离极为有限，难以满足人类日益增长的海洋活动需求。相比之下，声波在海洋中具有优异的传播特性。在极低频段（200Hz以下）可传播数百公里，即使频率升至20kHz，其衰减也仅为2~3dB/km，采用低频率、高功率的声波可在水下实现数千公里的数据传输，满足多种设备水下信息传输的应用需求。因此，采用声波作为信息传送的载体是目前海中实现中、远距离无线通信的唯一手段。

频率20kHz的水声通信在海水中的损耗仅为

2-3 dB/km

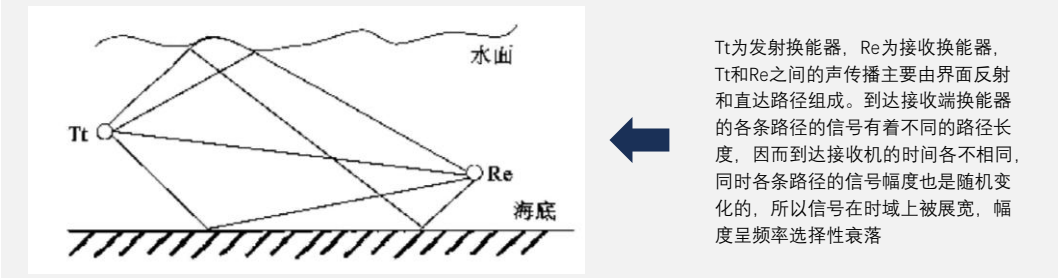
图表1：水下通信的主要方式

水下通信方式	工作原理	特性	应用情况
有线通信	通过光纤、电缆等物理介质传输数据的通信方式	电缆、光缆受海底深度、高压等复杂因素影响，布设和维护成本高	适应定点通信，使得水下有线通信的应用范围非常有限
水声通信	利用声波作为信息载体，将语音、文字或图像等信息转换成电信号，再由编码器进行数字化处理，通过水声换能器将数字化电信号转换为声信号	声波在水中的衰减最小，水声通信适用于中长距离的水下无线通信	广泛应用于水面舰船、潜艇等装备双向信息传输，海洋调查、海洋工程建设、海底矿产资源开发利用等方面
电磁波通信	用水作为传输介质，把不同频率的电磁波作为载波传输数据、语言、文字、图像、指令等信息的通信技术	电磁波是横波，在海水中的穿透深度与其频率直接相关，频率越高，衰减越大，穿透深度越小	目前，各国发展的水下无线电磁波通信主要使用甚低频、超低频和极低频三个低频波段以及无线射频通信
光学通信	利用激光载波传输信息。主要为波长450nm~530nm的蓝绿激光作为窗口波段应用于水下通信	在超近距离下，其速率可达到100Mbps。且海水穿透能力强、方向性好、设备轻巧且抗截获和抗核辐射影响能力好	应用于短距离通信，主要为浅水近距离通信，且两个通信点间随机的遮挡都会影响通信性能

来源：刘云涛《水声通信及其研究进展》、中国军网、头豹研究院

Q2：水声通信在深海环境中面临哪些考验？

图表2：浅海声道上声传播模型



- 水声通信在深海环境中面对的主要挑战在于水声传输的吸收衰减与窄带；大时延、强多途与时空不确定；多普勒、大起伏与时空不确定；海洋噪声干扰

水声传输的吸收衰减与窄带。海水对声波的吸收衰减随频率升高而指数上升。因此，水声通信的可用频率带宽很窄，通信速率低。例如，在几十到100km的远距离水声通信系统中，可用带宽不足1kHz。

水声传输的大时延、强多途与时空不确定。声波在水中的低速传播造成水声数据传输的大时延特性。同一信号的声波从不同路径抵达接收端时的多途时延差异极为显著，在不同海洋环境(空间)条件下、在不同时间条件下，从毫秒级、百毫秒级到秒级皆有可能，这种不确定的大时延扩展，给接收端数据处理和组网协议设计均带来极大困难。同时，多途还会造成信号的某些频率被增强而某些频率被削弱的频率选择性衰落现象，且不同空间位置结果差异极大，空间选择性衰落现象也极不确定。

水声传输的多普勒、大起伏与时空不确定。水下通信设备收发端之间由于波浪、潮流、潮汐等因素会不可避免地引起漂移，同时水下航行器也会有相对运动，该相对运动速度一般是每秒几米数量级，而由于声波在水中的低速传播，两者比值在 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ ，多普勒频移因子数量级约为 10^{-3} ，因此，水声数据传输的多普勒扩展效应显著。同时，多普勒扩展还会造成信号的某些时刻被增强而某些时刻被削弱的时域包络大起伏问题，即时间选择性衰落现象，且不同海洋环境（空间）条件下、不同时间条件下，波浪、涌浪、潮流、内波的不确定性会造成多普勒扩展（频率扩展）的不确定性。

海洋噪声干扰严重。海洋环境中的噪声来源主要包括潮汐、洋流、海面波浪、地震活动、海洋生物群体和交通运输等。由于声波在水中传播的共有属性，这些噪声的频段往往与水声通信设备所用频段存在交叉重叠的现象。

在几十到100km的远距离水声通信系统中,可用带宽不足

1 kHz

来源：刘云涛《水声通信及其研究进展》、陈友渝《人工智能技术在水声通信中的研究进展》、头豹研究院

Q3：水声通信技术的巨大应用价值体现在哪些方面？发展趋势如何？

- 水声通信技术在民用领域可用于海洋调查、海洋工程建设、海底矿产资源开发利用等方面；在军用领域可用于水面舰船、潜艇等装备之间实现双向信息传输以及水声反潜网络等方面

民用领域：水声通信主要用于海洋调查、海洋工程建设、海底矿产资源开发利用等方面。在海洋调查中，水声通信技术可以实时回传海底仪器采集的海洋数据，大大缩短数据获取周期，节省费用。在深海考察中，水声通信设备是深海载人潜航器必不可少的装备之一，除用于数据信息的传输外，还能让深潜员与水面科学家保持实时联络，以随时应对水下突发状况，完成科研任务。在海上石油开采工业中，水声通信设备用于水下环境参数、平台姿态、地震和海啸预防等监测，以确保施工开采现场的安全。

军用领域：水声通信主要应用于水面舰船、潜艇等装备之间实现双向信息传输以及水声反潜网络。首先，水声通信是水面舰船、潜艇等装备实现双向信息传输最有效的手段。例如在作战单元之间以及作战单元与指挥舰之间建立联系，保证指挥舰对作战单元进行战场指挥和传达指令，或作战单元之间的协同作战。在水下特种作战模式中，可以利用水声通信作为蛙人、蛙人运载器及其母艇之间的通信手段，从而在水下相互传递行动信息、共享作战态势，保证命令的及时下达和团队行动的一致性，形成一个相互关联的作战群体。其次，水声通信可用于水声反潜网络。在未来“以网络为中心的反潜战”中，水声通信和水声数据链传输将发挥重要作用，这需要在分布式监测器、水下无人航行体、潜艇和水面舰艇等之间建立声纳系统信息网络，传递语音、数据乃至图像等多种信息。网络通信将大大提高对水下目标的联合检测、定位和攻击的能力。

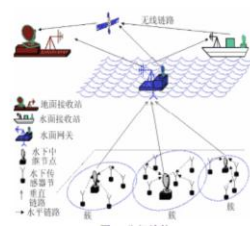
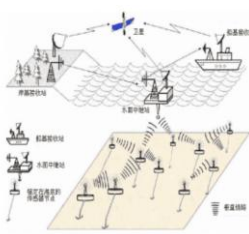
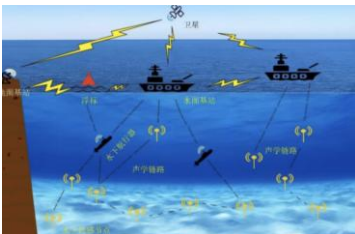
- 现阶段，水声通信技术正朝着网络化、智能化、全面化的方向不断发展

网络化：水声通信正在从“点对点”跃迁到“自组织水下网络”。这些网络通过AUV、海底观测站、浮标等节点协同工作，实现海洋环境监测、目标追踪和数据中继等功能。研究重点聚焦于低能耗路由协议、时间同步机制、拓扑控制与多跳传输技术，以提升网络的覆盖范围、生存能力和数据传输效率。同时，结合水面中继平台与卫星通信，构建“空-天-海-潜”一体化的立体通信体系，成为实现广域海洋信息互联的关键路径。

智能化：2017-2018年以来，以强化学习、深度学习、深度神经网络为主要特征的新一代人工智能技术，开始被大量探索和应用。应用于水声调制信号分类、水声接收机处理、水声自适应调制、水声通信网络协议、水声网络服务质量等方面，显示出出色的性能增益；同时，业界已开始超前部署海洋物联网框架下水声通信网络与人工智能相结合的策略方案。

全面化：水声通信正迈向全面化发展阶段，涵盖技术体制、应用场景与系统集成的全方位提升。在技术层面，从单一的声学手段向声-光-电磁融合通信演进，发挥各类介质优势，实现互补协同。在应用层面，不仅服务于军事领域的潜艇通信与水下作战，也广泛应用于海洋科学研究、油气勘探、生态监测和智慧海洋建设。系统设计上，强调高集成度、低功耗、小型化和标准化，推动水声通信设备从专用化向通用化、模块化转变。未来，随着JANUS等国际标准的推广和跨域协同能力的增强，水声通信将形成覆盖全海域、支撑多任务、服务多用户的综合性信息网络。

图表3：水声通信网络



来源：中国军网、陈友淦《人工智能技术在水声通信中的研究进展》、头豹研究院

Q4：中国水声通信行业的市场竞争格局如何？

■ 中国水声通信行业呈现出以国有科研院所和军工企业为主导、民营企业快速崛起、产业链逐步完善的多元化竞争格局

中国水声通信行业中，哈尔滨工程大学、中科院声学所、中国船舶集团下属研究所等科研机构凭借深厚的技术积累和国家项目支持，在核心算法、高端装备和军用系统领域占据领先地位；中国海防、中科海讯、海鹰企业、大洋经略、曼宝科技、智慧海洋科技等企业则在产业化和细分市场应用中发挥重要作用，整体市场集中度较高，军用领域因资质壁垒和安全性要求形成相对封闭的竞争环境，而民用市场在海洋监测、水下机器人和油气勘探等需求推动下，正吸引更多创新型企业进入，推动技术迭代与市场化进程，形成“国家队引领、民企补链、应用驱动”的发展格局。

图表4：中国水声通信行业企业

企业名称	企业介绍
中国海防	在水声通信方向上，中国海防在拖曳式水声通信、深海影区水声通信等一系列关键技术上实现重点突破，成功推出便携式高频水声通信设备、高频水声遥控设备、低频水声遥控设备3款新水声通信设备，实现无人平台、新型防务装备及特战装备的配套通信。2024年公司水声电子防务产品营收为10.9亿元。
中科海讯	中科海讯长期专注于国家特种电子信息行业声呐装备领域相关产品的研发、生产和销售，在海洋特种装备领域提供算力、算法、数据、系统等方面支撑。公司为客户提供信号处理平台、声呐系统、水声大数据、仿真训练系统、无人探测系统、数据计算中心等产品，主要作用为水声目标探测与识别、水声通信 与数据传输、水声导航与测绘等。2024年公司声呐系统方向创收0.6亿元。
海鹰企业	海鹰企业集团有限责任公司始建于1958年，为中国第一家水声设备制造企业，现隶属于中国船舶工业集团公司。主要研制生产声呐及换能器产品，在海洋水声仪器设备的开发研究方面取得较快发展。目前，达到国外同类产品先进水平的新型精密测深仪已成功推向市场。
大洋经略	北京大洋经略科技有限公司是一家从事海洋科学调查、海洋工程、航海安全、海洋环境保护和监测等领域提供科学仪器设备和系统解决方案的专业公司。产品涉及多个应用领域，主要产品包括各种级别水下机器人ROV/AUV、水下机器人开发系统、水声通信、3D航海导航系列、实时高精度GPS定位系统、测深仪、浅地层剖面仪、多波束和单波束侧扫声纳系统、海洋数据处理软件等。
曼宝科技	北京曼宝科技发展有限公司成立于2005年，是一家从事海洋科学调查、海洋工程、水下探测、航空测绘、航海安全、海洋环境保护和监测等领域提供科学仪器设备和系统解决方案的专业公司。主要产品包括各种级别水下机器人ROV/AUV、潜水员装备、3D航海导航系统、无人机、无人船、测深仪、浅地层剖面仪、多波束和单波束侧扫声纳系统、海洋数据处理软件等。
中国船舶重工集团海洋防务与信息对抗股份有限公司	中国船舶重工集团海洋防务与信息对抗股份有限公司成立于1993年11月18日，是一家专注于海洋防务与信息对抗领域的国有控股企业。公司主营业务涵盖水声电子产品、智慧城市产品、LNG储运产品等多元领域，并积极参与军工技术研发及深远海开发项目。
智慧海洋科技	深圳市智慧海洋科技有限公司是一家从事海洋通信研发与生产，致力于成为水下无线通信及网络整体方案提供商的开创型高科技公司。公司的水声通信和水下组网技术可应用于水下无线通信基础设施建设，构建“水下WiFi”网络及“水下卫星”导航通信网络，打造水下移动平台自组织(Ad Hoc)网络。

来源：企业年报、企业官网、头豹研究院

方法论

- ◆ 头豹研究院布局中国市场，深入研究19大行业，持续跟踪532个垂直行业的市场变化，已沉淀超过100万行业研究价值数据元素，完成超过1万个独立的研究咨询项目。
- ◆ 研究院依托中国活跃的经济环境，研究内容覆盖整个行业的发展周期，伴随着行业中企业的创立，发展，扩张，到企业走向上市及上市后的成熟期，研究院的各行业研究员探索和评估行业中多变的产业模式，企业的商业模式和运营模式，以专业的视野解读行业的沿革。
- ◆ 研究院融合传统与新型的研究方法，采用自主研发的算法，结合行业交叉的大数据，以多元化的调研方法，挖掘定量数据背后的逻辑，分析定性内容背后的观点，客观和真实地阐述行业的现状，前瞻性地预测行业未来的发展趋势，在研究院的每一份研究报告中，完整地呈现行业的过去，现在和未来。
- ◆ 研究院密切关注行业发展最新动向，报告内容及数据会随着行业发展、技术革新、竞争格局变化、政策法规颁布、市场调研深入，保持不断更新与优化。
- ◆ 研究院秉承匠心研究，砥砺前行的宗旨，从战略的角度分析行业，从执行的层面阅读行业，为每一个行业的报告阅读者提供值得品鉴的研究报告。

法律声明

- ◆ 本报告著作权归头豹所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复刻、发表或引用。若征得头豹同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“头豹研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节或修改。
- ◆ 本报告分析师具有专业研究能力，保证报告数据均来自合法合规渠道，观点产出及数据分析基于分析师对行业的客观理解，本报告不受任何第三方授意或影响。
- ◆ 本报告所涉及的观点或信息仅供参考，不构成任何投资建议。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。在法律许可的情况下，头豹可能会为报告中提及的企业提供或争取提供投融资或咨询等相关服务。本报告所指的公司或投资标的的价值、价格及投资收入可升可跌。
- ◆ 本报告的部分信息来源于公开资料，头豹对该等信息的准确性、完整性或可靠性不做任何保证。本文所载的资料、意见及推测仅反映头豹于发布本报告当日的判断，过往报告中的描述不应作为日后的表现依据。在不同时期，头豹可发出与本文所载资料、意见及推测不一致的报告和文章。头豹不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，头豹对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者应当自行关注相应的更新或修改。任何机构或个人应对其利用本报告的数据、分析、研究、部分或者全部内容所进行的一切活动负责并承担该等活动所导致的任何损失或伤害。

头豹业务合作

数据库/会员账号

可阅读全部原创报告和
百万数据，提供数据库
API接口服务

定制报告

行企研究多模态索引
引擎及数据库，募投可研、
尽调、IRPR等研究咨询

定制白皮书

对产业及细分行业进行
现状梳理和趋势洞察，
输出全局观深度研究报
告

招股书引用

研究覆盖国民经济19+
核心产业，内容可授权
引用至上市文件、年报

市场地位确认

对客户竞争优势进行评
估和调研确认，助力企
业品牌影响力传播

行研训练营

依托完善行业研究体系，
帮助学生掌握行业研究
能力，丰富简历履历

报告作者



陈夏琳
首席分析师
sharlin.chen@leadleo.com



于利蓉
行业分析师
lirong.yu@leadleo.com

业务咨询

- 客服电话：400-072-5588
- 官方网站：www.leadleo.com



商务咨询与深度合作

深圳办公室

广东省深圳市南山区粤海街
道华润置地大厦E座4105室

邮编：518057

上海办公室

上海市静安区南京西1717号
会德丰国际广场 2701室

邮编：200040

南京办公室

江苏省南京市栖霞区经济
开发区兴智科技园B栋401

邮编：210046