

# 潜对岸短波通信效能影响分析

冷梅<sup>1</sup>, 李淑媛<sup>2</sup>, 郑磊<sup>1</sup>

<sup>1</sup>海军潜艇学院, 山东 青岛

<sup>2</sup>火箭军驻北京地区军事代表局, 北京

收稿日期: 2021年9月23日; 录用日期: 2021年10月8日; 发布日期: 2021年10月27日

---

## 摘要

潜艇实现短波有效通信的环节多、过程复杂, 涉及装备可靠性、操作规范性, 同时受战场通信条件和空间自然环境条件影响明显。详细梳理潜艇短波发信各组成环节, 系统分析各影响因素特点规律和工作机理, 对于改善潜艇对岸上指挥所短波通信效能, 提高通信质量具有重要意义。结论可以为后续优化通信装备、规范操作方法, 提升潜艇通信指挥能力提供参考依据。

## 关键词

潜艇, 短波, 通信效能, 分析

---

# Analysis of Submarine's Influence on Short-Wave Communication Efficiency of Land Command Post

Mei Leng<sup>1</sup>, Shuyuan Li<sup>2</sup>, Lei Zheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Navy Submarine Academy, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Beijing Regional Military Representative Bureau of Rocket Force, Beijing

Received: Sep. 23<sup>rd</sup>, 2021; accepted: Oct. 8<sup>th</sup>, 2021; published: Oct. 27<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

There are many links and complex processes for submarine to realize short wave effective communication, which involves equipment reliability and operation standardization. At the same time, it is obviously affected by battlefield communication conditions and space natural environment

conditions. Combing the components of submarine short wave signaling in detail and systematically analyzing the characteristics, laws and working mechanism of various influencing factors are of great significance to improve the short wave communication efficiency and communication quality of submarine to land command post. The conclusion can provide a reference for optimizing communication equipment, standardizing operation methods and improving submarine communication command ability.

## Keywords

Submarine, Short Wave, Communication Efficiency, Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

潜对岸短波通信是指潜艇通过短波信道在极短的时间内将事先编辑好的报文快速发出,与岸上指挥所达成隐蔽、有效的信息传递。短波频率高、通信距离远、信道抗毁性强,是各国海军实现潜艇远距离通信的主要技术手段,但短波波束受发射环境扰动、电离层波动、多径传播特性等因素影响明显,性能不稳定[1]。通过对通信装备可靠性、电离层反射特性、通信距离估算、发射频率设定、自由液面波动等影响短波通信质量的各种因素进行系统分析,查找特点规律,在实战环境中进行科学处置,可以有效提高潜对岸通信的可靠性,提升潜艇战时通信指挥能力。

## 2. 潜艇短波通信工作模式

潜望状态下,短波通信可实现包括报文、语音、数字等信息形式的对岸有效联络。潜艇接到通讯指令后,利用发信终端编辑报文,操纵潜艇上浮至潜望深度,升起通信天线至水面一定高度,利用天线辐射体将短波波束散射向天空,在电离层和地表间经过一次或多次反射后到达岸上特定收信地点,利用专用接收设备组织接收信息,完成通信指令传递,实现潜艇对岸上指挥所的有效通信[2]。

## 3. 短波通信影响因素分析

潜艇实现短波有效通信的环节多、过程复杂,涉及到装备可靠性、操作规范性、战场发信条件、空间电离层特性等诸多因素,各个环节之间相互关联,每一个因素都可能成为通联不畅的直接或间接原因。

### 3.1. 装备可靠性分析

对于潜艇短波发信系统而言,发信终端、短波发射机、复合天线、信息处理台等设备构成高频瞬间快速报发信通道。系统设备繁杂,对于发信功能的实现需要各功能单元协调完成,因此造成通信故障的可能触发点较多。

首先,由于潜艇的特殊性,升降式天线的辐射体一般较短、有效高度低,导致天线辐射效率较低,而斜拉式天线水密性差,易渗水,绝缘性差。以上问题对潜艇通信的时效性、畅通率、可靠性具有较为明显的影响;其次,通信系统的馈线长,连接转换环节多,连接可靠性差,极易影响天馈系统性能的稳定发挥;最后,潜艇为了实现其情报、通信、指挥、控制以及侦察、监视的功能,在有限空间内配备了

众多的通信、雷达、声纳等电子设备，造成发报室电磁频谱异常拥挤，设备间电磁互扰严重。而且，受发报室内高温、高湿环境的影响，可能产生短时间频率漂移或工作不稳定现象。

通信装备各组成部分之间任何一个环节出现故障，都可能导致发信失败，而且装备隐性故障的出现都具有偶发的特性，导致发信系统随机性故障的出现时间、持续时间都不可预测，无法准确定位和追踪。因此，对于通信装备的研发应该在提高装备性能的同时，加强功能的模块化设计和系统的整体性建设，切实提高通信装备整体的稳定性和可靠性。

### 3.2. 电离层特性影响分析

电离层作为短波空中反射的介质层，是决定能否建立有效短波通信的核心要素。短波波束通过在地表与电离层之间进行一次或多次反射实现信息传播。地球空间分布的电离层主要在地表上空 60~1000 km 范围内，至下而上分布，依次为 D、E、F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 层。其中，F 层电子密度最大，是短波通信的核心反射层 [3]。各层参数特性如表 1 所示。

Table 1. Attribute table of ionospheric layers

表 1. 电离层各层属性表

层名	D 层	E 层	F <sub>1</sub> 层	F <sub>2</sub> 层
夏季白天/夜间高度(km)	60~90/消失	90~150/90~140	150~200/消失	200~450/150 以上
冬季白天/夜间高度(km)	60~90/消失	90~150/90~140	160~180/消失	170 以上/150 以上
白天最大电子密度(个/m <sup>3</sup> )	$2.5 \times 10^9$	$2 \times 10^{11}$	$2 \times 10^{11} \sim 4 \times 10^{11}$	$8 \times 10^{11} \sim 2 \times 10^{12}$
夜间最大电子密度(个/m <sup>3</sup> )	消失	$5 \times 10^9$	消失	$1 \times 10^{11} \sim 3 \times 10^{11}$
电子密度最大值的高度(km)	80	115	180	200~350
白天/夜间临界频率(MHz)	<0.4/0	<3.60/6	<5.6	<12.7/5.5

短波主要包含天波和地波。海上潜艇向岸上指挥所发送远距离通信信号，往往要跨越海面、岛屿或者陆地、高山，因此，通信链路主要靠天波建立 [4]。但受电离层波动和多径传输现象的严重影响，天波信道参数随时空演变发生急剧变化，性能极不稳定，而影响信息接收质量的原因趋于逻辑上的不相关。

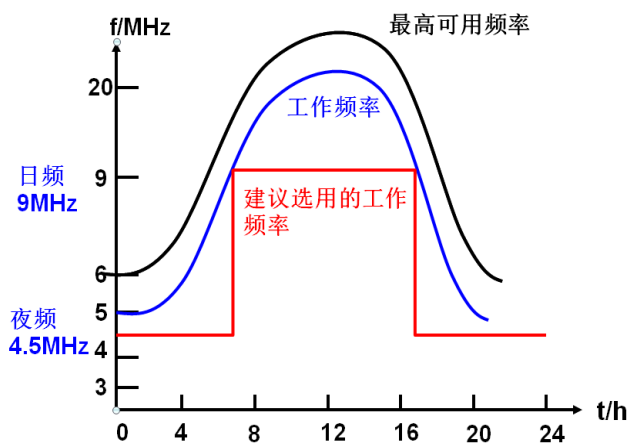
由于短波信道是多径传播、时变、色散信道，受工作频率高低等因素影响，不同接收点接收时效差异明显，多径和频率选择性衰落造成相隔一定距离不同方向、不同角度天线接收效果大相径庭，易引起码源畸变、信号失真，严重时可导致通信中断，对通信的稳定性和可靠性造成严重影响。另外，电离层电子密度波动对延时现象也有明显影响，日出日落时段，延时最为明显、复杂，相对而言，中午和子夜较为稳定 [5]。

综合上述分析可知，电离层的时空特性，对短波通信信道的稳定具有决定性影响。由于电离层的特性受空间电磁环境条件的影响既具有周期性变化的规律，又具有偶发的属性，使得短波通信，特别是远距离海上通信的可靠性较低，无线电信号湮灭在复杂电磁环境中的情况时有发生。在进行短波通信时，需要根据发射时间阶段，对传输空间电离层特性的变化进行充分的分析，准确把握发射瞬间电离层规律特点，同时，根据通信距离，在发射功率选取上充分考虑传播损耗，提高短波传播过程的可靠性。

### 3.3. 发射频率影响分析

短波通信信道的选择受空间电离层波动、传输距离和方位、海拔高度、天线种类等多种因素的影响和制约，信号接收稳定性差，背景噪声明显，信噪比低。即使同一台设备，通信频率选取不同，通

信效果都具有较大差异。因此，工作频率的合理选择对于提高通信质量，确保通信可靠性起到至关重要的作用。



**Figure 1.** Schematic diagram of shortwave working frequency selection  
**图 1.** 短波工作频率选取示意图

由于电离层的状态是不断变化的，对电波的吸收和反射情况也是不断变化的，在不同时间或不同地点能反射的最高频率各不相同。因此，采用短波通信时，应在确保信号强度满足传播过程中的能量损耗的基础上，选择最低和最高可用频率之间的短波波束进行通信[6]。

同时，由于通信频率受季节、昼夜和通信环境等因素的影响，总体呈现夏高冬低、日高夜低、低纬高于高纬的变化趋势。根据电离层日变换规律及历史数据统计，在短波工作频率选取上可参照图 1 所示规律，根据通信距离，结合表 2 所示指标进行合理选取[7]。

**Table 2.** Effective working frequency of short wave in different periods

**表 2.** 短波不同时段最佳工作频率

时段	类别	频率(MHz)		
		500 km	1000 km	2000 km
0 时	最佳频率	4.6	6	10
4 时	最佳频率	4.5	5	6
8 时	最佳频率	7	10	18
12 时	最佳频率	16	20	30
16 时	最佳频率	14	18	28
20 时	最佳频率	8	10	16

### 3.4. 通信数据可达性分析

短波天波的传输距离是评估信息能否按预期达到接收点，建立有效通信的重要依据。由于天波传播的特殊性，其传播距离受电离层变化、空间自然环境、传播过程能量自然损耗等因素影响，呈现不规则的多变性[6]。

### 3.4.1. 天波理论传波距离

如图 2 所示, 在确定发射点和接收点地理坐标后, 天波理论传波距离为两者之间的大圆距离  $D$ , 其可由式(1)计算求得[8]:

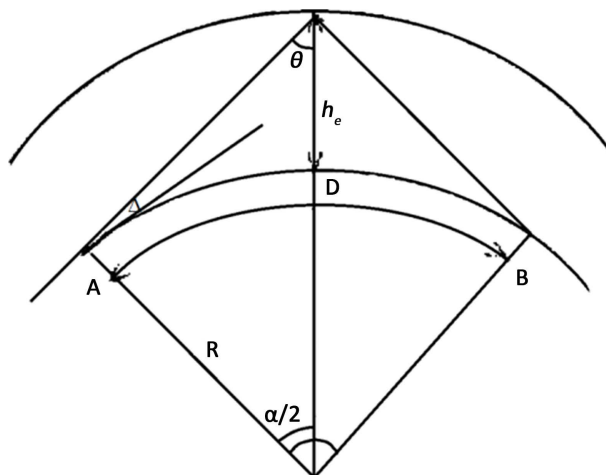


Figure 2. Calculation diagram of sky wave propagation ray distance

图 2. 天波传播射线距离计算示意图

$$D = 111.17\alpha \text{ (Km)} \quad (1)$$

由发射端至接收端的有效几何路径长度  $D_e$  可以表示为:

$$D_e = 2\sqrt{2R^2 + 2Rh_e + h_e^2 - \cos\frac{\alpha}{2} \cdot (2R^2 + 2Rh_e)} \quad (2)$$

式中,  $h_e$  为电离层高度;  $\alpha$  为收发两端点的地球中心夹角;  $R$  为地球半径。

$$\cos\alpha = \sin x_1 \sin x_2 + \cos x_1 \cos(y_1 - y_2) \quad (3)$$

式中,  $x_1$ : 发射端的地理纬度;  $y_1$ : 发射端地理经度;  $x_2$ : 接收端的地理纬度;  $y_2$ : 接收端地理经度。

### 3.4.2. 传输过程能量损耗

天波传播损耗影响传输距离和信道稳定, 在工程上可由图表法和合成法进行查阅或计算。其中, 在传播过程中产生的能量损耗用  $L_b$  表示[8]。

$$L_b = L_{bf} + L_g + L_a + Y_p \text{ (dB)} \quad (4)$$

式中,  $L_{bf}$  为自由空间传输损耗,  $L_g$  为地面反射损耗,  $L_a$  为电离层吸收损耗,  $Y_p$  为附加系统损耗。其中, 最主要的损耗为自由空间基本传输损耗  $L_{bf}$ , 电离层吸收损耗次之, 其它不易明确计算的损耗全部归集为附加系统损耗  $Y_p$ 。

短波传播距离的计算不仅取决于通信频率的选择和通信距离的测算, 还需准确把握电离层和太阳活动的周期性变化规律以及对波束的能量损耗进行估算, 根据上述分析进行理论数值计算。

### 3.5. 发射环境影响分析

通常情况下, 潜艇短波发报需要上浮至潜望深度, 将天线伸出水面, 利用天线辐射体的辐射作用将报文发出。受自由液面波动的影响, 发信瞬间天线辐射体可能被海浪浸泡, 造成辐射效能下降, 甚至无

线电湮灭的可能。

如图3所示,潜艇处于潜望状态发信时,一个波浪周期内,波峰波谷间存在一个波高的理论差值[9]。从深度计测量潜艇航行深度到发报瞬间,海面波浪可能会经历若干个传播周期,这一过程很可能经历深度计测量点位测深时刻处于波谷位置,而报文发送时刻天线处于波峰位置,形成一个波高的实际深度误差。加之潜艇在高海况近水面航行时,会出现明显的纵倾和横摇,也会加剧深度差的进一步扩大,最终造成发报瞬间天线辐射体局部甚至全部湮浸在海浪中。由于海水含盐量和导电率高,使得通信时天线辐射效能大幅降低,辐射功率不够,甚至造成信号湮灭在海水中,无法传输进入空中,岸上收信台无法正常收信的可能。另外,即使天线辐射体全部或者部分伸出水面,由于海水蒸发的缘故,近水面空气湿度高、水分子密度大,盐分高,在水面一定高度内,对电磁波的传播阻碍作用明显,造成严重衰减,同样可以造成信息无法正常通过短波天波在空中传输的可能。

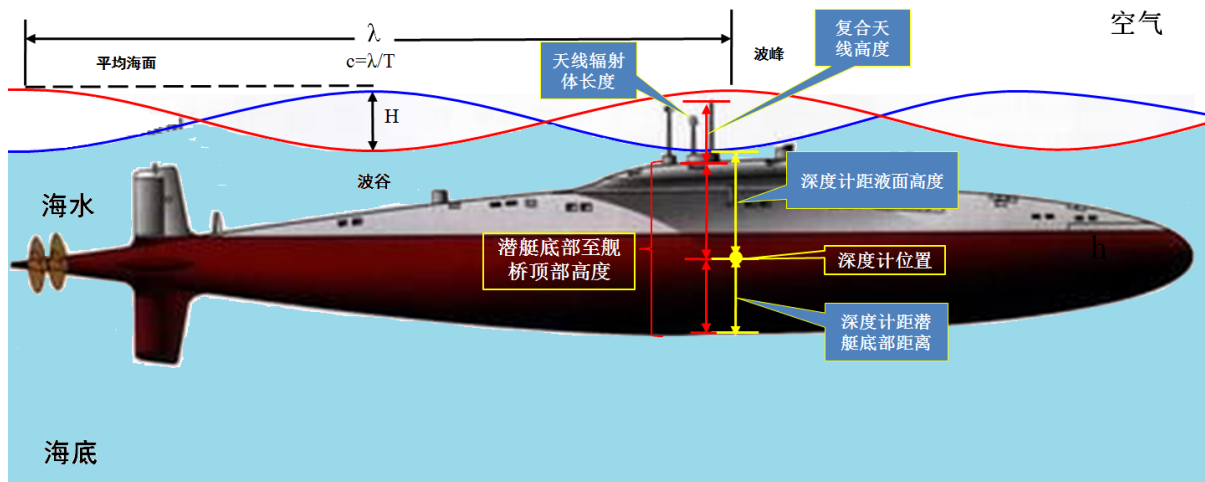


Figure 3. Display diagram of submarine composite antenna height from sea surface in periscope state

图3. 潜望状态潜艇复合天线距海面高度显示图

在潜艇上浮发信时,必须充分考虑自由液面波动的影响,在确保隐蔽的同时,尽可能将通信天线上浮,确保辐射体全部漏出水面,使得通信天线发射功率能够有效输出。

### 3.6. 敌情电磁干扰影响分析

对通信信道的技术干扰是破坏岸潜通信的常见技术手段。敌方根据战场环境和作战态势,将大量电磁干扰设备部署在作战海域,向通信频段内密集投射干扰信号,人为制造复杂电磁环境,产生大量干扰信号,扰乱电磁频谱,破坏信道,阻挠潜艇正常通信。具体方法主要包括堵塞信道、信号欺骗和破坏电磁波传播环境[10]。大量电子干扰设备的投入,可以使信道在一定时间内处于阻塞状态,并伴随大量人为和非人为的欺骗信号,造成潜艇收发信息时信号失真、真伪并存,甚至信号中断,从而实现破坏通信指挥的目的。

## 4. 结论

综合以上分析可知,影响潜艇短波通信效能的因素众多。首先,潜艇短波通信系统组成结构复杂,各发信单元设备功能独立,信息传输链路繁琐,造成通信故障的可能触发点较多;其次,电离层受空间电磁环境的影响明显,既具有周期性变化的规律,又具有偶发的属性,是短波通信可靠性降低的决定性因素;再次,由于短波发信在潜望状态,自由液面波动造成发信环境的不确定性,海水高盐率、高导电性的特点,使得通信时天线辐射效能大幅降低,辐射功率不够,甚至信号湮灭在海水中,无法传输进入

天空。因此，在潜艇对岸指进行短波通信时，需要对通信装备技术状态、可靠性进行充分的评估，准确把握发信环境、空间环境的变化和影响规律。根据执行任务的海区、海况、天线、功率、频率等发信条件的变化情况，合理选择潜艇上浮深度，准确把握发信时间窗口，确保发信质量，切实提高潜艇短波通信的可靠性。

## 参考文献

- [1] 潘海明, 罗壮一. 对潜通信综述[J]. 论证与研究, 2007年6月: 115-161.
- [2] 孙东平, 荣海洋, 李建林. 外军潜艇通信装备发展趋势研究[J]. 通信技术, 2009, 121(10): 1-3.
- [3] 野学范, 史伟, 孙晓磊, 李论娜. 信息化条件下潜艇通信需求及对策[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(6): 138-140.
- [4] 刘运红, 短波通信链路建模与性能分析[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2018.
- [5] Ozdil, O. and Toker, C. (2016) Optimum Transmission Frequency Selection on the HF Band Based on the IRI and ITS Model. *39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, Vienna, 27-29 June 2016, 215-218. <https://doi.org/10.1109/TSP.2016.7760863>
- [6] 梁拥军. 浅议短波通信实际应用中的频率选择[J]. 中国科技信息, 2015(3): 182-183.
- [7] 韩龙. 舰艇短波通信干扰距离的计算[J]. 通信技术, 2015, 48(6): 682-686.
- [8] 祝梦卿, 朱秋明, 张宁, 等. 短波通信传播路径损耗分段预测方法[J]. 航空兵器, 2020, 27(1): 71-75.
- [9] International Telecommunication Union (2015) Recommendation ITU-RP.533-13 Method for the Prediction of the Performance of HF Circuits. 325-328.
- [10] 周怡慧, 王睿. 海上自然环境对短波通信的影响浅析[J]. 科技视界. 2019(10): 182-183.