

# 自航水雷应用 Alpha 甚低频导航信号传输特性分析\*

乔立涛<sup>a</sup>, 刘翠海<sup>a</sup>, 李文龙<sup>b</sup>

(海军潜艇学院 a. 研究生3队; b. 培训系, 山东 青岛 266042)

**摘要:**分析了俄罗斯 Alpha 甚低频导航系统信号的入水特性, 简要分析了将 Alpha 甚低频导航信号应用于自航水雷导航的可行性.

**关键词:**甚低频; Alpha 系统; 导航; 自航水雷

**中图分类号:** T61+1; T765.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-0707(2009)02-0080-02

在封锁作战中由潜艇对敌方重要港口隐蔽攻势布雷, 可以对敌方进出港的舰船实施突然打击, 在短时间内扰乱敌方在该港口的正常活动. 战时, 敌方必然会在重要港口部署大量反潜搜索警戒兵力. 在这种情况下, 潜艇携带水雷, 要突破来自太空、空中、水面和水下的立体封锁, 接近到敌港口附近从事布雷活动, 潜艇的安全受到极大的威胁. 因此, 实施攻势布雷与布雷后的补充布雷成为未来高技术条件下局部战争, 特别是进行封锁作战时的突出难题之一. 远程自航水雷可以使潜艇在发射水雷时远离敌反潜搜索兵力, 相对提高了布雷时潜艇的隐蔽性, 是实施攻势布雷的有效武器. 而对远程自航水雷的导航和定位就成为急待解决的关键技术之一.

## 1 Alpha 信号入水特性分析

俄罗斯的 Alpha 甚低频导航系统的工作范围覆盖我国及一岛链大部分海区, 对其导航信号的长年监测表明 Alpha 系统信号能够在我国用于导航定位<sup>[1]</sup>. 随着对 Alpha 信号传播特性研究的深入, 特别引入差分技术后利用 Alpha 信号实现精确定位将成为可能.

当导航信号由空气进入海水后, 其传输特性会发生变化, 在空气和海水界面处, 有式(1)~(2)<sup>[2-3]</sup>.

$$E_{xz}(0) = E_{0xz} \frac{E_{ozm}}{\sqrt{60}} e^{j(t+\frac{\pi}{4})} \quad (1)$$

$$E_{zy}(0) = \frac{E_{0yz}}{s - j60} \frac{E_{ozm}}{60} e^{j(t+\frac{\pi}{2})} \quad (2)$$

其中,  $E_{xz}(0)$  为界面处电磁波的水平分量;  $E_{zy}(0)$  为界面处电磁波的垂直分量;  $s$  为海水相对介电系数;  $\lambda_0$  为海水导电系数;  $\lambda_0$  为空气中波长.

可以看出海水中场强的垂直分量比空气中的垂直分量减小 60 倍, 水平分量减小  $\sqrt{60}$  倍. 因此, 水下应接收

水平分量场强, 且海水中场强水平分量相对空气中垂直分量, 发生  $\pi/4$  的相位跃变. 对于水下  $h$  深度处的场强水平分量可表示为式(3).

$$E_{xz}(h) = E_{xz}(0) = E_{0xz}(0) e^{-\alpha h} e^{j(\frac{h}{v})} \quad (3)$$

其中,  $2\sqrt{\frac{30}{\mu}}$  为海水的衰减系数;  $v$  为电磁波在海水中的传播速度;  $\frac{h}{v}$  为附加相位.

不难证明电磁波在海水中的传播方向几乎是垂直向下的.

海水的衰减常数为

$$\alpha = \sqrt{\frac{\mu}{2} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right)^2} - 1 \right]} \quad (4)$$

其中,  $\mu = 4 \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ,  $\sigma = 4 \text{ S/m}$ ,  $\epsilon = (1/36) \times 10^{-9} \text{ F/m}$  为海水的本构参数,  $\omega = 2\pi f$ .

将 Alpha 信号的基本频率  $f = 11.905 \text{ kHz}$  代入可得:  $\alpha = 0.4336 \text{ Np/m}$ . 则根据水下场强水平分量幅度的衰减值公式  $d = 20 \lg e^{-\alpha h}$  可以得到关于深度的曲线如图 1~2.

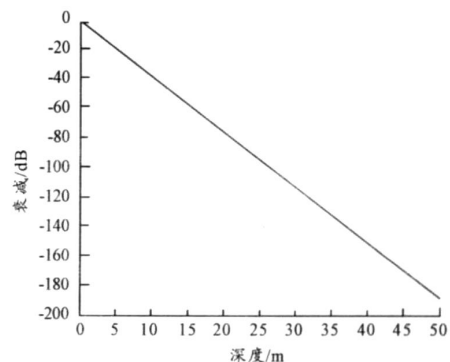


图1 Alpha 信号入水衰减曲线

\* 收稿日期: 2008-10-25

作者简介: 乔立涛(1982—), 男, 河北唐山人, 硕士研究生, 主要从事甚低频导航的应用研究.

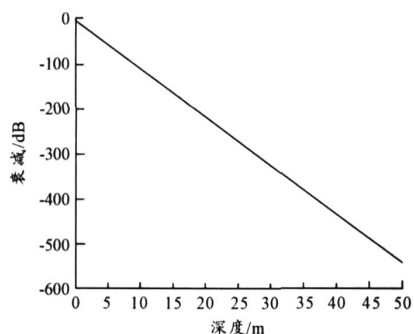


图2 罗兰 C 信号入水衰减曲线

当  $h=7\text{ m}$  时,电波衰减为  $-26\text{ dB}$ 。当  $h=10\text{ m}$  时,电波衰减为  $-37\text{ dB}$ 。与图 2 对比可以看出 Alpha 信号入水后的衰减明显小于罗兰 C 信号入水的衰减,Alpha 信号更适合水下接收。由文献[4]可知 Alpha 信号在水下  $10\text{ m}$  时信号的强度为毫伏级,通过具有一至几个具有锁相环路的超外差式接收机即可达到接收灵敏度要求。目前甚低频的水下接收技术比较成熟,所以甚低频信号在自航水雷上的接收是完全可能实现的。

Alpha 导航系统是通过测量 2 个导航台发射的在相位上严格保持同步的连续波到达接收机时的相位差来得到接收机距离导航台的距离差的。水下定位时,不考虑海浪因素,因信号入水深度位置相同,所以因入水引起的附加相位相互抵消,测得的相位差就相当于信号入水前的相位差,原理为:设  $\phi_A$  为 A 台信号的水上相位,  $\phi_A'$  为 A 台信号入水产生的附加相位;  $\phi_B$  为 B 台信号的水上相位,  $\phi_B'$  为 B 台信号入水产生的附加相位;水面上 A、B 两台的信号相位差为:  $\phi_{AB} = \phi_A - \phi_B$

水下接收到的相位是:

$$A\text{ 台: } \phi_{AS} = \phi_A + \phi_A', B\text{ 台: } \phi_{BS} = \phi_B + \phi_B'$$

A、B 两台信号的水下相位差为式(5)。

$$\phi_{ABS} = \phi_{AS} - \phi_{BS} = \phi_A + \phi_A' - \phi_B - \phi_B' \quad (5)$$

因为 A、B 两台信号频率相同,信号入水路径相同,所以信号入水的附加相移相同,即  $\phi_A' = \phi_B'$ ,则式(5)可以写成式(6)。

$$\phi_{ABS} = \phi_A - \phi_B = \phi_{AB} \quad (6)$$

由式(6)可得水下台对的相位差等于水面上台对的相位差。如前文所述信号入水后垂直向下传播,所以获得了水上位置就是获得了水下位置。

### 3 结束语

Alpha 信号入水后,电磁波垂直向下传播,信号随深度呈指数规律衰减,水平分量衰减小于垂直分量,故水下接收时应接收水平分量;信号入水前后的相位差保持不变。

### 参考文献:

- [1] 黄新宝,李社军. Alpha 导航系统在水下导航应用中的技术分析[J]. 导航,2004,40(2):89-93.
- [2] 刘选谋. 无线电波传播[M]. 北京:高等教育出版社,1987.
- [3] 张效民,相敬林,尹雪飞. 水下自主航行体长波信号传输特性分析[J]. 水雷战与舰船防护,1999(1):36-40.
- [4] 沈军涛. 甚低频遥控水雷的可行性分析与系统设计[J]. 计算机测量与控制,2006(9):95-100.

(上接第 71 页)设计工作的效率。采用改进 ISM 方法组织和设计训练内容,能够在微观上对每个科目的训练点进行科学组织,依据该方法,还可开发相应的程序进行计算机辅助,能够大大提高训练内容组织设计的效率。

### 3 结束语

现代科学技术在军事领域的广泛应用及武器装备的更新换代速度加快,使得训练内容的更新频率也随之加快,采用改进 ISM 方法能够科学、高效的设计与之相适应的训练内容,为快速形成保障能力奠定基础。

### 参考文献:

- [1] 李晓争. 基于解释结构模型的铁路智能运输系统体系

结构研究[D]. 北京:北京交通大学,2007.

- [2] 常玉,刘显东,杨莉. 应用解释结构模型 ISM 分析高新技术企业技术创新能力[J]. 科研管理,2003,24(3):31-33.
- [3] 戴敏力,谈国新,陆峰. 解释结构模型(ISM)在教学计划制定中的应用[J]. Computer Era,2006,10:51-53.
- [4] 吴铨叙. 军事训练学[M]. 北京:军事科学出版社,2002.
- [5] 赵武奎. 装备保障学[M]. 北京:解放军出版社,2003.
- [6] 张海君. 系统结构模型的生成与研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2006.