

无线电通信——隐身舰船的唯一弱点

工程师们正在积极利用隐身技术,该技术在沙漠风暴行动中为美国海军部队提供了显著的优势。但是,舰船隐身存在的主要问题是其本身通信系统的辐射。本文讨论了人们所熟知的无线电技术及说明利用该技术产生的通信系统,它们或者极易被探测或者不切实可用。提出了一种“定向分配多路存取”新构想,它有可能对隐蔽无线电网络提供很多优点。

1 概述

涉及到特殊外形、吸波材料及其它减少雷达回波的隐身技术,开始是为诸如 F-117、B-2 和 F-22 等飞机平台发展的。沙漠风暴期间的有关 F-117 飞机的作战经验证实,隐身技术的确能提供无法估计的战术优点。

电子工程师和舰船设计师们正在致力于利用对海军部队也有利的类似的战术优点,制造像美国的海影和瑞典的 SMYGE(还有其它仍在保密的一些计划)试验舰船。大量的研究工作正集中于降低海军舰船的光、声、热和电磁信号特征。

然而,任何形式的伪装,只能对其最薄弱的点(易被探测的点)起作用。对隐身舰船而言,无线电通信是其最重要的弱点,因为它的辐射最易被探测到;而且,任何试图取消这样的通信(具有辐射的)系统,都会对增加海军部队作战优势的适当的指挥、控制和情报带来不利的影响。

2 海军无线电通信手段的可探测性

不管怎样对海军舰船进行隐身设计,它们总是需要无线电通信手段来协调舰船与其它部队及来自岸上和机上命令的联合作战。遗憾的是,来自发射机的无线电能量或多或少地会向各个方向散布,它们只需要比无线电通信低的信噪比就可以被探测到。因此,无线电信号很容易被探测到,而且它们的发射源可以通过设置在较远距离的无线电监测和定位系统予以定位。这种易被探测性否定了战术突然袭击的优点。

通过无线电交换的信息,大致可分为远距离传送和近距离传送两类:

- 远距离传送 它属于超视线的传送。交换的信息主要涉及来自上级指挥部的指令、控制和情报。为此,高频(HF)和卫星链路以及具有机载无线电中继(例如联合战术信息分配系统(JTIDS))的微波网络是适用的。

- 近距离传送 它是一种高度相关的传送,各个传感器和不同舰船上的武器的各自的有效作用区是重叠的,并直接或协同对传感器数据做出的响应。这种与侦察和武器控制有关的紧密协作要求交换具有极小时间延迟的高容量数据。为此,具有视线传播条件的无线电频率是适宜的。

近距离传送需要的数据处理能力的急剧增加预料是由于新的探测器方案出现的结果,例如:双基地和多基地雷达,到达时间差(TDOA)无线电定位,无线电监测和被动声纳的相关应用。

无线电监测和无线电定位系统监测的频率范围从极低频(ELF)到毫米波和毫米波以外。

飞航导弹 1995 年第 7 期

• 35 •

这些探测系统来自背景噪音的无线电信号的能量,并通过分析、区分敌友获得战术相关信息,例如有关信号源的方向乃至位置信息。

不同的海军无线电通信系统的可探测性依据它们的性质而不同,下面将予以讨论。

2.1 常规无线电通信手段的可探测性

图1给出了某些海军无线电通信手段的示意图。对于超出视线的无线电链路而言, HF 通常被采用,这种信号的地波易于在超过雷达探测距离的范围被探测到。对于近距离无线电链路而言,一般采用功率为 30W 或更高一些的甚高频(VHF)和超高频(UHF)发射机。无线电信号的准光学传播距离随着天线的海平面高度的增加而增加,假若接收机为机载的(飞机的飞行高度为 1 000m),则信号的传播距离可以超过 150km。

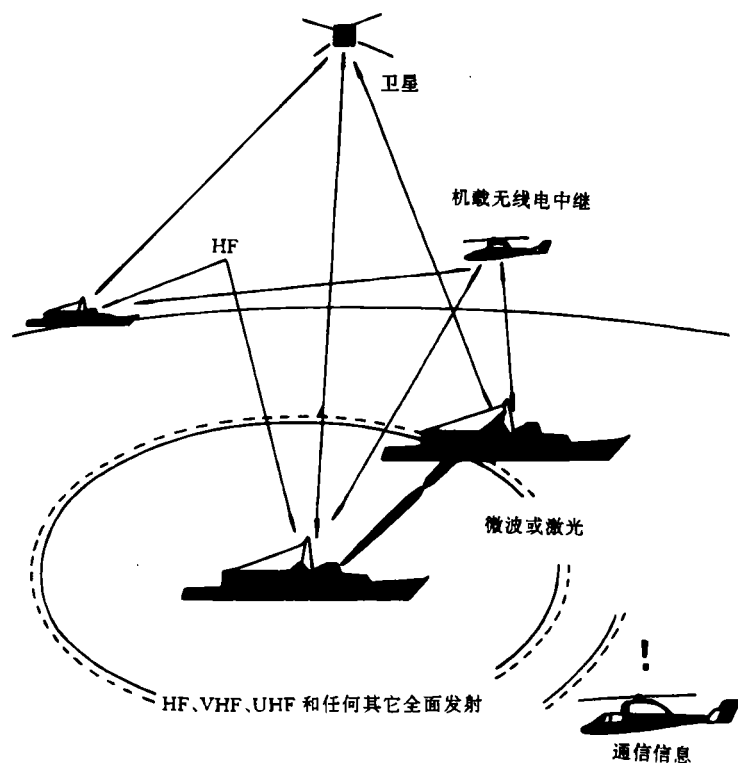


图1 海军常用的通信手段

为了探测未知频率的信号,无线电监测系统必须扫描所考虑的频率范围。过去,这种监测系统的操作员必须在低扫描速度和高灵敏度或者高扫描速度和低灵敏度之间进行选择;并且,由于过去该系统具有低扫描性能,所以信号有一定的逃脱、被探测的机会。这一情况已经随着极快和极灵敏的测向器的有效性及采用数字信号处理和快速傅里叶变换(FFT)原理而得到显著改善。这种FFT测向器以 180MHz/s 或者更高的速率扫描,具有单通道测向器的灵敏度和频率分辨力。例如,如果一个以 225MHz 和 400MHz 之间的未知频率发射 5s 的无线电信号,则一个FFT测向器将在此期间对该频率范围的每一个可能的无线电信道至少检测 5 次。

由于FFT的这种扫描性能,通常所用的 HF、VHF 和 UHF 链路在短时间内就能被探测

到，从而使隐蔽的隐身舰船暴露。因此，常规无线电通信手段不适用于隐身舰船。

2.2 现代无线电通信手段的可探测性

△扩展频谱 VHF/UHF 发射机采用跳频(FH)严重地降级了无线电监测系统。特别是在高信号密度区，为了辨认个别的发射机，即基本上确定发射机的方向，测向器在分类接收机的脉冲时存在一些问题。不过，由于海上的信号密度较低，因此通过跳频可以避免无线电信息被监测，但不能防止其被探测和定位。

直接顺序(DS)是另一种扩展频谱技术，它在一个宽频带载体上调制信息。因为是在带宽上扩展信号功率，因而降低了频谱的功率密度，并可能降到比背景噪音的还低。不过，由于背景噪音加上一个弱信号后的频谱功率密度几乎仍和背景噪音的功率密度一样低，故采用天文学用的探测最弱的深空间无线电源的辐射计，就能探测到这些信号。由于海上的背景噪音较低，DS 不能防止探测。这种情况对联合战术信息分配系统(JTIDS)也是正确的，它们的发射机利用 FH 和 DS 技术。

△卫星链路 为了将这种现代的解决办法用在舰舰通信中，每艘舰船装备有地面站无线电收发机。由于离卫星的距离至少为 36 000km，因此舰载无线电收发机必须以高功率传送，功率的一部分被无线电辐射到其它方向。图 2 示出了卫星链路和不希望的链路之间到机载监测系统的增益关系。很明显，舰载通信站能被探测到。因此，即使是卫星链路也不适用于隐身舰船。

△毫米波 为隐蔽无线电传输而采用极高的频率是利用其高的大气吸收衰减的特性，这使远距离机载监控系统不能接收到信号，甚至在视线条件下也是这样。

遗憾的是以每倍频程增加 6dB 的自由空间损耗对毫米波而言是非常高的(参看表 1)。例如，频率为 60GHz 的自由空间损耗比频率为 300MHz 的要高出 45dB。不考虑吸收损耗，一台发射频率为 60GHz 的发射机需要的发射功率高于 1MW，与其相比，一台工作在 UHF 频带的发射机所需要的发射功率为 30W。因此，具有全向天线的毫米波的应用对舰船通信是不可行的，因为这样的传送系统要求高增益的定向天线。

△定向链路 具有窄波束宽的定向天线一直用于减少非预期方向的辐射，从而减少信号特征。发射机的功率可以通过双天线的组合增益而减小，而信号特征可以通过发射天线的旁瓣衰减而进一步降低。因此，采用定向天线是减少整个传送信号特征的最好方法。另一个优点是由于接收机天线的旁瓣衰减而增加了抗干扰能力。

不过，窄波束用于运动载体时还存在着严重的问题。假若两个站想要建立链路而彼此的实际方向又不知道时，则需要天线扫描，直到两个波束互相对准为止。

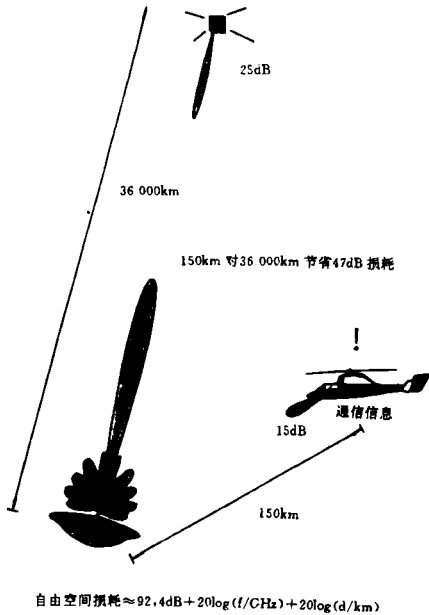


图 2 卫星链路的损耗关系

这种天线扫描可以通过逐步改变一个天线的方向进行,而发射机在每一步都要求听候一个回答。在第一个天线每次完全旋转之后,另一个天线进行单步操作。很明显,这种方法要求很长的时间,因而对移动式应用是不可行的。另一个与定向链路有关的问题是必须对通信网络的每一个节点装备一套无线电收发机和天线,以供节点的每一链路通信使用。

激光通信可以看作定向链路的特殊形式,但它具有同样的问题。

这些讨论表明,隐身舰船隐蔽通信的实现存在严重的问题。采用 HF、VHF 和 UHF,甚至扩展频谱技术,在实际的海上环境都极易被探测到。对定向链路来说,不管是采用微波、毫米波,还是采用激光,仅当链路建立的问题得到解决且每个节点的可能的链路数目与设备的数目无关时才能适用。

3 隐身舰船的通信要求

隐身舰船采用隐蔽的通信系统需要满足哪些特殊要求? F. J. 里奇等人已就改进军用通信系统的措施作了如下简要说明:

- 尽量减少不期望方向的意外辐射;
- 尽可能地通过把自身的信号和信号源隐藏在自然背景中,或者使其处在敌人探测不到的频率范围,或者如果可能的话使其完全无辐射而使信号和信号源很少被辨认和探测到;
- 使通信系统有更多的分布和冗余,并具有较少的关键节点和较多的备用链路;
- 通过使敌人得不到位置信息、分散信号源使其成为不易伤害的目标、以虚假的或伪装信号和目标欺骗敌人、或者在关键时机关闭信号源等措施,使敌人不能攻击通信系统;
- 当通信系统的部件遭受破坏时能够很快地重建起来;
- 通过进一步发射更多的尽可能不可破译的信号,使敌人不能利用系统的信息和使系统免除信号干扰的影响等措施,保障系统的安全可靠;
- 通过信号的频率、时间、波型和到达方向以及其它等等,提供更多识别有用信号和无用信号的能力。

4 近距离通信的新构想

定向分配多路存取(D²MA)是用于海军部队隐身舰船近距离通信的一种新构想。D²MA 利用导航星/全球定位系统(NAVSTAR/GPS)信号和罗盘仪为移动式无线电站提供定向天线和用最短时间建立一个链路和多链路的能力。

D²MA 解决了由于定向天线的可移动应用而带来的许多问题,并且为移动式通信利用微波、毫米波和激光开创了道路。

由于 D²MA 系统的实现还有待未来,下面先介绍一种现时可能的解决办法。

4.1 工作原理

图 3 示出了通过 D²MA 分组无线网络互相联络的几艘隐身舰船。每艘舰船装有一台

表 1 与频率有关的自由空间损耗

频 率 (GHz)	相对自由空间 损耗(dB)	功 率 (W)
0.3	0	30W
1.2	12	475W
3	20	3kW
10	30	30kW
30	40	300kW
60	46	1.2MW

D²MA 无线电收发两用机,它具有存储转发和自动路径选择功能。网络的每个节点以具有180°角位移的单接收和单发射点波束为特点,所有网络节点的接收点波束进行同向扫描,这可以通过采用与 NAVSTAR/GPS 时间信号和罗盘仪信息相一致的公用扫描程序安排而达到。

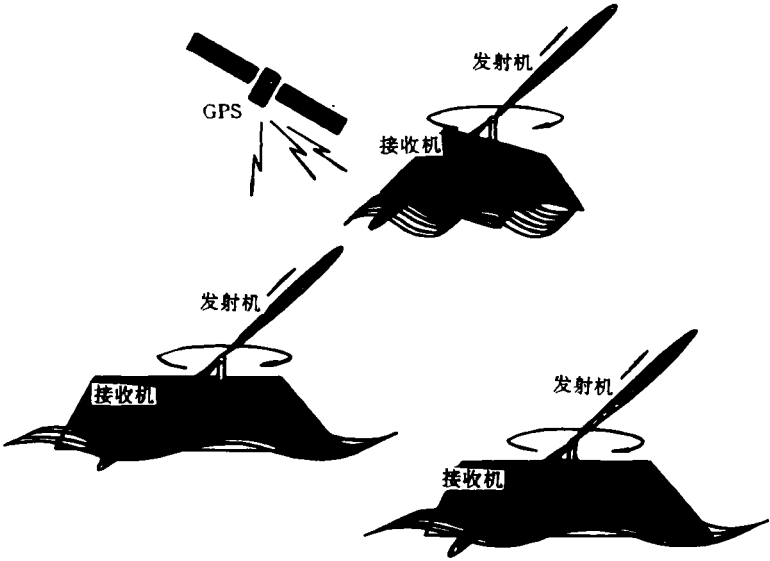


图 3 利用 D²MA 网络的隐身舰船

从图 3 可以看出,同向扫描能保证每一个节点的发射波束每旋转一次将指向任何其它节点,并在此时刻恰好与接收波束相匹配。此时,当这两个特殊的节点间的链路增益由于两者的定向天线的增益而增加时,数据包将以低功率脉冲串发射出去,并由于接收天线的旁瓣衰减而具有高质量接收。发射波束的同向扫描能确保每一个节点永远不被来自不同方向的信息寻址,并且更进一步把干扰减少到最低限度。

脉冲串的长度由扫描速度和波束宽度限定:

$$t_B = \frac{T_s \cdot \theta}{360} = \frac{\theta}{f_s \cdot 360}$$

式中 t_B 为脉冲串长度, T_s 为一次扫描周期, θ 为用度表示的半功率波束宽度, f_s 为扫描频率。对于扫描速度为 10rev/s, 波束宽为 5°的脉冲串,按上述公式计算的脉冲串长为 1.4ms。如果脉冲串以 34MBit/s 数据速率发射,则脉冲串的长度约相当于 47kBit。尽管可用的信息数据速率由于同步性、前向误差修正和其它规约数据的原因可能仅为 10 个 47kBit 脉冲串的几分之一,但 D²MA 微波网络的潜在容量还是很明显的。

在旋转半周以后可以发送回答,如果被见到的不同方向存在几个节点,则将通信容量提供给每个链路。

旁瓣衰减和同向发射允许所有的无线电收发机共用相同的频率,至少在链路建立时是这样。在 3 个相互可见到的节点成一行的场合可能会发生信息碰撞。在这种情况下,可以假定链

路已经建立,可以采用频率调整解决这个问题。在链路建立之后,还可以采用全双工技术成倍地增加通信容量。

图4示出了一种可能的、相当简单的双面天线。该天线由一个接收天线和一个发射天线以及其间的倾斜旋转镜组成。它作为目前技术水平的相控阵和转换式多波束天线确实能提供很高的性能。为了简单起见,本文对天线的俯仰、滚转和天线杆扭转的补偿方法不予讨论。

D²MA 能影响天线的扫描和脉冲串传送的定时,但不能影响频域。跳频、扩展频谱和加密技术的优点也可以同 D²MA 一起使用。使用扩展频谱技术甚至是控制海上射线路径的多路径环境所需要的。

D²MA 构想可用于各种定向传送——微波、毫米波、激光、VHF/UHF 和甚至具有大型天线阵的 HF 系统。它还可以用作声传送系统。

4.2 建立链路

为了同处在未知位置的另一艘舰船建立一条链路,无线电收发机利用公用扫描程序安排和向预期舰船处在的那些方位区段发送导频信号。加密的导频信号传送始发者的籍别、位置、航线和速度信息。接收机利用这些信息来确定其回答的最佳时刻。这些信息将在节点之间以每个脉冲串的形式交换,直到链路被叠化为止。

准备随时接受一个新节点的任何节点,利用相同的公用天线扫描。如果存在一个传播路径,接收节点将获得导频信号(假若损耗和同步性误差在限度之内的话)。在接收时,接收节点将确认导频信号并且新节点被连接。

假若天线波束像前面所述的那样快地旋转的话,则建立一个链路或者在其中断后重新建立该链路所需的时间将为十分之几秒。如果正在建立链路,节点可以同意省去扫描,以便能连续地互相指向它们的天线或者应用任何其它适当的扫描程序安排。这种特点要求利用相控阵或转换式波束天线。

当单一的共频被用于链路建立时,可以避免在建立一个链路的很多不成功的尝试中的共同原因——失谐。

与很多其它防干扰技术不同的是, D²MA 网络的抗干扰能力在链路建立期间和链路通信期间是相同的。

4.3 网络结构

由于天线扫描,每个节点能够利用单个的无线电收发机同时保持通向不同方向的一些节点的数个链路,因此使 D²MA 网络结构极为简单。每个节点同互相看得见的节点连接。如果较远的距离必须接通的话,信息在相邻的接点之间交换,从一个节点到另一个节点向前传送,直到终点为止。如果存在另外的传播路径,它们将被同时使用,以提高传送可靠性。

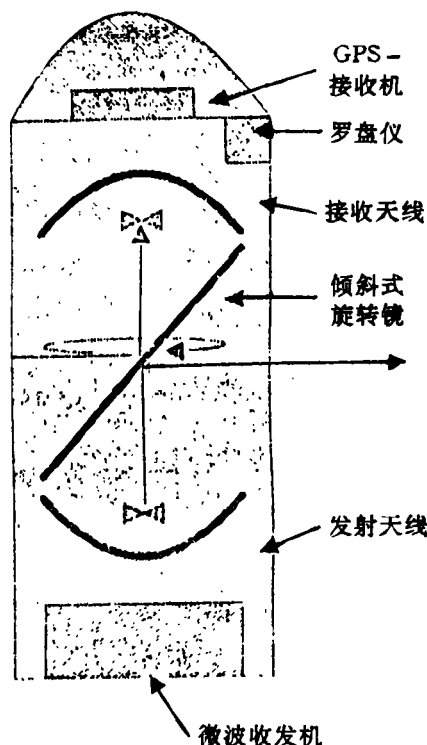


图4 简单的双面天线

由于这种简单的结构,使其很容易被组合成大型的和网状的 D^2MA 网络。图 5 示出了两种 D^2MA 网络:一种是连接两艘舰船的小型网络;一种是连接群集舰船的大型网络。

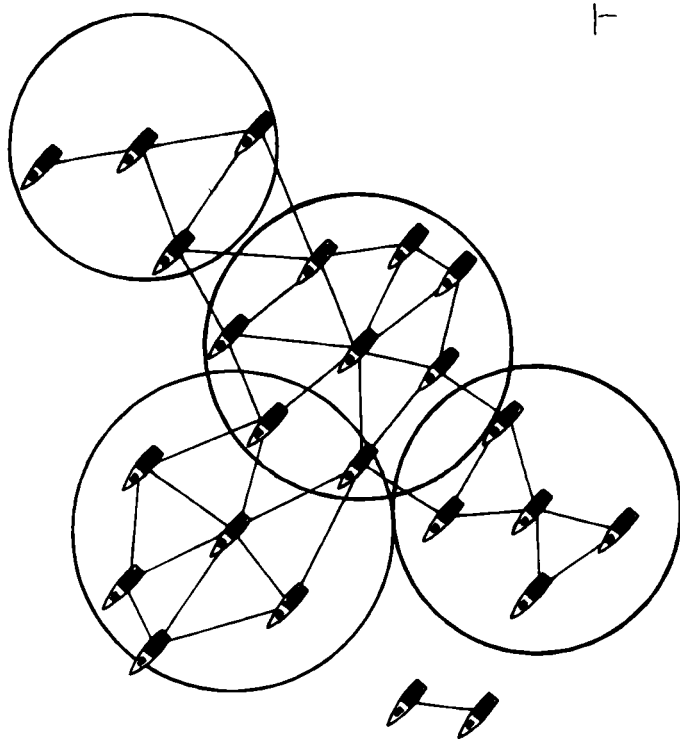


图 5 特混舰队的 D^2MA 网络

假定两艘采用具有相控阵天线和上述数据处理能力的 D^2MA 无线电收发机的舰船决定省掉扫描和互相指向它们的天线,则数据处理能力以 36 的因数而增加(即增加 35 倍)。如果这两艘舰船逼近大型的舰队并期望在航程之内返回,它们将重新开始扫描并试图通过发送导航信号建立一条链路。

在大型网络中,每一对舰船之间的数据处理能力比小型网络的低,因为几个节点必须按照它们所保持的链路数目分担数据处理能力。由于高度的网络化,可以相应地获得高水平的网络可靠性和生存能力。 D^2MA 网络具有的自动路径选择的特点使其能自动地适应于舰队的机动和结构变化。这一特点在很大程度上提高了舰队的响应性。

5 讨论隐身

将 D^2MA 系统与前面节 3“隐身舰船的通信要求”所陈述的改进措施相比较,可以很好地看出 D^2MA 系统具有如下优点:

(1)大大地减少了非预期方向的无意辐射;通过天线的组合增益和发射天线的旁瓣衰减降低信号特征;

(2)使自身的信号和信号源不易被识别和探测;跳频、扩展频谱、毫米波和激光技术可以与 D^2MA 组合使用;

(3)使通信系统有较多的分布和冗余,有较少的关键节点和较多的分组链路:D²MA 网络是全分布式且没有单独的关键节点。它是固有网状结构,并能提供多重备用链路;

(4)使敌人得不到位置信息而丧失攻击节点的能力:这是通过低信号特征实现的;

(5)通过分散信号源使敌人丧失攻击通信节点的能力,从而信号源不再是易受攻击的目标,而是以假的伪装的信号和目标欺骗敌人:一枚反辐射导弹将对付可能来自不同方向的单一频率的辐射;

(6)使通信系统在其部件遭到破坏后能很快地重建起来:通过 D²MA 网络的网状结构和易于建立链路来实现;

(7)进一步通过使系统发射更多的尽可能不可破译的信号,使敌人不可能利用系统和使系统免除信号干扰而保证系统的安全可靠:通过 D²MA 与跳频、扩展频谱和加密技术可能的组合来实现;

(8)通过信号的频率、时间、波型和到达方向等等,提供更多的识别无用信号和有用信号的能力:D²MA 通过到达方向和时间提供识别。

这些优点表明,D²MA 工作原理有希望实现具有改进性能的战术通信系统。D²MA 通信系统允许隐身舰船互相通信而不牺牲它们的伪装,即可以充分地利用隐身的 C²I 的优点。由于 D²MA,隐身舰船将不再被局限于“孤独者”的作用,它可以利用所有标准的海军战术。

此外,D²MA 系统所具有的高通信容量,易于建立和重新建立链路等优点,使该系统也适用于提高未隐身海军舰船的性能。定向分配(D²)技术也适用于下列情况:HF 远距离分组无线网络;无人驾驶飞行器(UAV)和其它机器人遥控网络;高速运动的微波分组无线网络;空间基网络;水下探测。

徐海江



爱国者导弹进入阿联酋防空阵地

阿联酋在与俄罗斯就购买俄罗斯 3 套 SA-10/12(C-300B)防空系统进行商谈时,美国雷锡恩公司准备以 10 亿美元报价向阿联酋提供 10 套爱国者导弹发射装置。但几个月来,阿联酋未做出购买决定。据报导,阿联酋正考虑要购置俄罗斯的武器系统以便极早部署使用。

俄罗斯有关人士称,C-300B 系统的性能比爱国者导弹系统的好。雷锡恩公司认为只有爱国者导弹才能与阿联酋现有综合防空网协同工作。已有 25 套以上爱国者导弹发射装置出售给沙特阿拉伯和科威特。此外,爱国者导弹的雷达系统可为阿联酋的霍克 II 导弹系统提示使之具有近程反战术弹道导弹能力,而霍克导弹也可作为爱国者导弹的补充支援系统。

雷锡恩公司正力促美国陆军拥有更多的爱国者导弹系统以满足阿联酋近期部署要求。阿联酋需要的首批装备可向美国陆军租赁/购买。此外还可得到约 20 部爱国者导弹的雷达和火控单元。

刘菊艳