

# 潜艇通讯和电离层的人工加热



杜钧福

## 潜艇通讯的困境

战略核潜艇的出现很大程度上改变了现代战争的概念。这种可在水下发射远程导弹的核动力潜艇能长达几个月,无声无息地潜伏在北冰洋的冰层之下,能神不知鬼不觉地出现在敌方战略要地附近的水域,在敌人意想不到的地方发动突然袭击。

战略核潜艇的威慑力主要取决于两个因素。首先是它的隐蔽性,即不易被察觉。其次是它的机动性,即按照指挥机构的意图机动作战。为了达到后一项要求,它必须与设于本土的基地保持密切的通讯联系。而这一点,又与隐蔽性相矛盾。在这个问题上,核潜艇与派在敌国的间谍相似:联系与潜伏总是矛盾的。

这一通讯的主要问题是潜于水下的潜艇如何接收基地的指令。而存在的主要困难是:通常用于远距离通讯的无线电短波不能穿透海水,因而不能为水下的潜艇接收。当然,潜艇可以拖曳一个浮在水面的天线,用来接收短波信号。但这样的天线也极易暴露潜艇的行踪,因而也不可取。

只有波长很长的无线电波才能穿透海水。这就是现代用于潜艇远距离通讯的长波通讯方法。这样的通讯工程规模宏大,耗资可观。原因在于无线电波的发射天线的尺寸应为其波长的量级,才能具有充分的发射效率。所以波长越长,天线尺寸越大。这样一来,潜艇通讯所需的发射天线往往长达几十公里。而且,架设这样的天线的地点要求很好的地质条件。这是因为架在空中的天线和下面的地层构成一个电流回路。电波发射效率和通过这个回路的磁通变化有关。显然,这个回路的面积越大越好。这就要求架设长波天线地域的地表电导不良,而深层电导良好,从而能使回路电流从深层返回。

从这样的天线发射出的长波无线电波通过电离层和地面之间的波导传到世界各地。处于水下的潜艇用艇身作无线来接收这些信号。一些主要军事大国都在本土架设了这样巨大的长波天线以指挥巡航于各大洋上的核潜艇以及常规潜艇的活动。然而,随着军事技术的发展,这种长波通讯方式越来越暴露出它的不足

之处。和潜艇的隐蔽性、机动性相反,这种长达几十公里,用高塔架设的天线显然无法隐蔽,也不能搬迁,因而在战争期间极易被摧毁。

另一方面,这种传统通讯方式所采用的电磁波属于波长几十公里的甚低频(VLF)波段。它只能穿透到海水水面以下十几米的深度。随着潜潜技术的发展,核潜艇浮到这样的深度来接收信号也是极冒险的。为了使信号达到更深的水下,须采用波长更长,或者说,频率更低的电磁波,最好采用频率为几千周、几百周至几十周的极低频(ELF)波段。发射这样的波所需天线尺寸更长,发射效率也更低。这后一点也极易理解。我们日常所用的市电是五十周的交流电。传输用的电线可视为天线。如果这样的低频波很容易发射出去,发电厂发出的电力岂不是都传到天空中去了吗?所以,这一技术问题似乎不能用传统方法来解决。

能不能抛弃传统方法,另辟蹊径呢?实际上,海水透过电磁波的“窗口”不仅仅是无线电长波。绿光——极短的电磁波也可穿过海水,然而光线只沿直线传播,不可能由基地发射来直接指挥潜艇。因而有人提出这样一个方案:把信号通过常用的短波传至处于海洋上空的军事通讯卫星,然后利用装在卫星上的绿色激光透过海水传给水下的潜艇。这一方案听起来很理想,但实际上还有很多技术问题。

另一方案较实用,仍采用长波,然而却借助于完全不同的发射方法。这就是电离层的人工加热。

## 电离层及其人工加热

人们也许会问:前面提到的电离层,究竟是什么意思呢?

让我们考虑从地面开始不断升高高度时大气的变化。有一种变化是众所周知的,那就是随高度的增加,大气越来越稀薄。但是,到了几十公里的高度,又出现了另一种变化。那就是部分气体电离。所谓电离,是指气体分子或原子失去一个或多个电子,变成带正电,称为离子。而从分子或原子脱离的电子则在空间运动,称为自由电子。

电离的能量主要来自阳光中的紫外线,也来自宇

宙线，而高层大气比较稀薄，又使得自由电子很少有机会遭遇到离子而再复合成分子或原子。所以，在这样的大气中，得以维持一定的电离气体存在。

随着高度增加，大气中的电子密度不断增加。在二百多公里的高度，这个密度达到了最高值。但即使在这个高度，电子密度仍然只有中性气体密度的千分之一左右。

在这样的大气中，电子和离子所占成份虽然少，但它们，特别是其中质量很小的电子，对电磁波的传播起着非常大的作用。这是因为，就含有自由电子而言，部分电离等离子体和金属相似。金属可反射电磁波，含有自由电子的上层大气也可反射频率低于一定值的电磁波。我们把几十公里高度以上的，可显著影响电磁波传播的上层大气称为电离层。

电离层反射电磁波的性质十分重要。在本世纪20年代，就是根据接收到来自电离层的电磁波回波证实了电离层的存在。就某些波段的无线电广播也是靠了电离层的反射，才传播至世界各地。

如果我们把电离层看作地球的一部分，我们就可以认为，电离层人工加热这个念头似乎是荒诞不经的。我们很难想象，怎能用人为的方法提高广袤无垠的电离层的温度？

然而，这一很早就提出的想法实现起来并不如想象的那样困难。因为决定电离层性质的主要是其中的电子。加热电离层主要是加热其电子，而电子是相当稀薄的。计算表明，若使电离层温度显著变化，所需要的能量是可在现代技术条件下解决的。

首次成功的电离层人工加热实现于1970年。采用的方法是向空中垂直发射高频电磁波，使之与电离层相互作用。这一实验的成功是与雷达技术的进步分不开的。实验中所用的天线列阵可发射频率为几兆赫，波束宽度仅几度，有效辐射功率达几百兆瓦的高功率电磁波。

采取各种测量方法对这一加热效果进行检验。其结果表明，在电磁波的作用区形成了线度为几十公里的加热区域。其中电子温度可提高几百度。还发现了其它极为有趣的现象。电磁波停止发射以后，电子温度很快恢复到初始值，但一些其它效应可延迟很长一段时间。到目前为止，电离层是唯一的可人工改变其内能的大尺度自然现象。电离层的人工加热堪称人类所创造的奇迹之一。

自70年代以来，几个电离层人工加热装置相继建立。它们分布在波多黎各的阿雷西博，美国阿拉斯加的费尔班克斯，俄国的莫斯科、高尔基和摩尔曼斯克，以及挪威北部的特姆索。很多实验工作在这些装置上进行，并取得了大量研究成果。

#### 电离层的人工加热和长波通讯

各国政府建立电离层加热设备的目的不仅仅为了

创造奇迹，也不在于为了纯学术的研究。其主要目的之一是希望用这种方法实现长波通讯。

用电离层人工加热方法进行长波通讯可采用不同技术方案。其中一种主要方法的原理简述如下：

由于地球运动等因素的影响，在电离层中，特别是极区及赤道附近的电离层中存在着自然电流。这样的电流是直流，自然不发射任何电磁波。但是，如果把这一电流进行低频调制，它将发射同样频率的电磁波。怎样调制这一自然电流呢？在电离层的人工加热实验中，由于高频电磁波与电离层的相互作用，使电离层中电子温度等参数发生变化。这一变化又引起加热处电导率的变化。而电导率的变化又使得原来就存在的自然电流的强弱发生变化。如果加热用的高频电磁波是被一低频信号调制的，那么，相应的电导率及自然电流也按同一低频信号被调制。因而，这一低频调制的自然电流将在空间发射低频无线电波。

总之，这一方案的主要思想就是利用高频电磁波与电离层的相互作用，对电离层的电导率进行低频调制，利用自然电流形成线度为几十公里的空间“无线”天线来进行低频长波通讯。

这样的“无线”天线是电离层的一部分，显然是任何人无法摧毁的。而加热电离层所用的高频发射设备，由于正处在广播频段，技术上是非常成熟的。无论从设备的简单程度，发射效率和成本上来看，它都比传统的长波天线要优越得多。

这一方案的另一个优点是：“无线”天线不仅可以发射甚低频电磁波，也可以发射波长更长、频率更低的极低频电磁波，以至于发射每秒钟只振动几个周期的超低频（ULF）电磁波。这样低频率的电磁波可以达到水下更深的深度，这将有利于潜艇的潜伏。当然，这种低频载波传递信号的方法也有缺点，就是它的信息传递速率太低了。但在一定程度上克服。例如，事先制订若干作战方案，在关键时刻通知潜艇按第几号方案执行。这样需传递的信息量并不大。

这种通讯方式已试验成功。例如，一些欧洲国家的科学家用挪威特姆索的加热装置进行了调制试验，在几千公里距离以外接收到了低频波传递的信息。

#### 电离层人工加热的其它方面

以上我们仅从长波通讯的角度介绍电离层的人工加热。实际上，它的意义远远不止于此。

在高频电磁波与电离层相互作用中，电离层所吸收的能量中，仅只有三分之一用来直接加热电子。其它能量用以产生其它物理过程。因此，我们所说的电离层人工加热是一个不确切的通俗说法，比较科学的概念是电离层的人工变态。

所说的其它物理过程包括在作用区域产生高能电子，高能电子又激发大气辉光，还包括各种类型的等离子体不稳定性。这些不稳定性可产生一些新的波，并

# 爆炸力学及其工程应用进展

张 凯

## 一、引言

爆炸是自然界中经常发生的一种物理与化学的过程,在爆炸过程中,以极高的速度释放出能量。爆炸产物对周围介质作功,产生破坏作用,如破坏弹体形成杀伤破片,爆破矿山抛掷土石,在介质中形成冲击波、应力波等。爆炸的主要特征是在爆炸中心周围的介质中产生压力突跃,这种压力上升前沿只有几个微秒。

爆炸力学学科就是要从定性、定量两方面来描述爆炸过程的力学,这是一门边缘性学科,它涉及爆轰物理学,其内容包括炸药的化学反应特征,炸药的爆轰过程及爆轰参数的理论与工程计算方法等;爆炸气体力学,其内容包括爆炸产物在其形成的特定流场中各个参量:压力场、密度场的计算。介质材料对爆炸作用的响应,即材料在冲击加载下的力学与物理性能的研究,如应变的局部化,即绝热剪切带;再结晶;超塑性;空穴压溃;断裂;相变;微观裂缝;界面现象等现象研究。它把固体力学(包括弹性与塑性力学),气体力学,应力波理论,材料的性态(材料学科)都耦合在一起了。而且其变形都是有限变形,是非线性的,因而难度很高,从事这门学科研究的人要有较为广阔的知识面。

由于爆炸作用的特点是在介质中产生压力突跃,如何来描述这种突跃现象在介质中传播是这一学科研究的起点。

1889年, P. H. Hugoniot 发表他的著名的  
著作系大连理工大学教授

可在电离层内产生一些顺地磁场方向排列的条纹结构。研究这些过程对于我们理解等离子体物理的一些基本问题,特别是等离子体与波之间,波与波之间的线性及非线性相互作用有极大的帮助。

电离层的人工加热使电离层从观测对象变成了实验对象,从而开辟了一个等离子体物理学的户外实验室。这个实验室实际上是没有边界的,因而避免了边界条件的影响等复杂因素。

长波通讯仅是电离层的人工加热的可能应用之一。在通讯方面,这一技术还可用来进行超高频波段的远距离散射通讯。这一通讯方法有很好的保密性。

电离层人工加热研究尚可用于空间太阳能电站。这样的发电站很早就设想过了,随着航天飞机的成功,这一方案越来越接近于现实。这样的空间电站拥有几

Hugoniot 关系式:

$$e' - e = \frac{1}{2}(p + p')(v' - v) \quad (1)$$

其中  $e'$ ,  $p'$ ,  $v'$  和  $e$ ,  $p$ ,  $v$  是激波间断点前后的内能, 压力和比容。用(1)式来解决运动传播中的间断性以来, 爆炸力学就真正走上理论发展的道路, 把关系式(1)用到具有反应的流体上是 J. Crussard 的功绩, 在这个世纪初把激波与爆炸波的物理现象以及把 Hugoniot 与 Crussard 的工作联系起来是 Jouguet 的功绩, 他建立了 H 线上的临界点(即爆轰的极小值与爆燃的极大值), 创立了维持爆轰的 C-J 条件。随后, 1944 年 Weyl 提出击波层厚度的概念, 以及 1971 年由 Chère 提出的爆轰波面层概念。

高速变形力学是爆炸力学的中心理论研究课题, 炸药释放出来的能量高度集中, 产生的压力达数万至数十万个大气压(核爆炸将达到百万以上), 而作用时间只有几微秒到几十微秒, 因而材料在炸药爆炸作用下所产生的变形都在短时间内完成, 变形具有高应变率的特征, 可以说, 一切高速变形都伴随有高应变率, 大塑性应变, 材料在高应变率下有很多特殊性质。近 40 年来, 通过精心设计的各种不同类型的高速变形的材料力学实验, 得到了一些比较确切可信的关于材料本构关系的实验结果和实验现象。如霍布金生压杆装置, 轻气炮装置都是目前国际上通用的在实验室中用来研究高速变形力学的有效工具。

平方公里到几十平方公里的采光面积, 可发出强大的电力, 而不耗费任何地球资源, 也不会造成污染。它唯一的待解决的技术难题是: 它只能用强大的微波束向地球表面输送能量。而这微波束在通过电离层时会产生什么暂时和长远的作用, 此问题只能在电离层人工加热实验中予以研究。

纵观技术进步的历史, 凡一项技术发生根本性变革的时候, 其进步的原因一般不是原有工艺的改进, 而是新的原理的应用, 新的技术路线的采用。从螺旋桨飞机到喷气机, 从电子管到晶体管, 都是如此。而用于潜艇指挥的长波通讯的新方法的提出, 又进一步证实了这一论断。技术上的这些革命性的变革孕育于物理学的思想之中, 而技术的进步又推动了物理学的进展。