

等离子体隐身及其用于飞机的可能性

凌永顺

(解放军电子工程学院, 安徽 合肥 230037)

摘要: 等离子体隐身是一种极为重要的隐身技术,美、俄都在进行深入研究并已进入应用阶段,受到国内广泛关注。从隐身机理、试验验证和应用状况三方面论述了等离子体隐身的可行性,指出了等离子体隐身的优点和局限性,分析了将等离子体隐身技术应用于作战飞机的可能性。

关键词: 等离子体;隐身;飞机

中图分类号: V418 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2000)02-0001-03

1 飞行器利用等离子体隐身的可行性

1.1 等离子体隐身具有可靠的理论依据

等离子体是气体电离形成的第四态物质,它具有数密度近似相等的自由电子和正离子。由于未电离原子、分子对电子的吸附,在等离子体中也有少量负离子。在电离度低于 10^{-4} 的弱电离等离子体中,中性粒子占绝大多数。在军事上,高空核爆炸、放射性核素的射线、燃料中掺有铯、钾、钠等易电离成份的火箭和喷气飞机的射流、高超音速飞行器的激波以及电弧放电和微波,可以形成弱电离等离子体。

等离子体是不同于空气的另一种媒质,对电磁波的传播有很大的影响。在一定条件下,等离子体能够反射电磁波;在另一条件下,又能吸收电磁波并能改变电磁波的传播方向。此外,它还能造成射频信号频谱离散和假调制。以上因素,使等离子体成为新型电子干扰和隐身物质。

等离子体重要参数之一是它的朗缪尔频率,或称等离子体频率

$$\omega_p = \left(\frac{n_e e^2}{\epsilon_0 m_e} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中 n_e 为自由电子数密度, e 和 m_e 分别为电子的电量和质量, ϵ_0 为真空的介电常数, ω_p 所对应的波长 $\lambda_p = 2\pi(c/\omega_p)$ 称为朗缪尔波长, λ_p 与 n_e 的关系可从上式导出

$$n_e = \frac{4\pi^2 \epsilon_0 m_e c^2}{e^2 \lambda_p^2} = 1.12 \times 10^{15} \frac{1}{\lambda_p^2} \text{m}^{-3} \quad (2)$$

例如,当 $\lambda_p = 3\text{cm}$ 时,用上式可以算出 $n_e = 1.24 \times 10^{18} \text{m}^{-3} = 1.24 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 。理论计算表明,等离子体对电磁波的折射率是频率与电子密度的函数,可近似表示为

$$n = \left(1 - \frac{n_e e^2}{\epsilon_0 m_e \omega^2} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

根据(3)式,如果 $\omega < \omega_p$,则 n 为虚数,电磁波在等离子体中的相速度 $u = c/n$ 也是虚数,这意味着 $\omega < \omega_p$ 的电磁波不可能在等离子体中传播,或者说,电磁波不会进入等离子体。在锐边界条件下,入射电磁波将在其振幅衰减到原值的 $1/e$ (e 为自然对数的底)时的传播距离,称为反射趋肤深度

$$\delta = \frac{\lambda_p}{2\pi} \left(1 - \frac{\lambda_p^2}{\lambda^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

如果雷达波长 $\lambda = 3\text{cm}$,而等离子体的 $\lambda_p = 1\text{cm}$ (对应的 $n_e = 1.12 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$),则由(4)式可算出 $\delta = 0.17\text{cm}$ 。即波长为 3cm 的雷达波进入电子密度为 $1.12 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ 的锐边界等离子体的深度约为 2mm ,它的大部分能

量($1-e^{-2}=87\%$)就在途中被反射掉了。因此,只要有足够的电子密度,很薄的等离子体就可以反射雷达波。在大气中产生的等离子体通常没有锐边界。这时,根据(3)式,电磁波将在等离子体内符合 $\omega=\omega_p, n=0$ 的位置附近被反射。因此,等离子体是一种特殊的高通滤波器,当雷达频率低于等离子体频率时,雷达波被全反射,等离子体能以电磁波反射体的形式对雷达进行电子干扰,当雷达频率高于等离子体频率时,雷达波能进入等离子体,但将被吸收。吸收的主要原因是电磁波的电场对电子做功,电子获得动能,再通过它同其他粒子的碰撞,把这种能量转换为粒子无规则运动的能量。运用统计理论,可推出电子与中性粒子的碰撞频率为

$$\nu = \frac{4}{3} \pi a^2 N \bar{v} \quad (5)$$

式中 a 、 N 分别为中性粒子的有效直径和数密度, \bar{v} 是电子的算术平均速度。在大气低层, ν 的量值约为 $5 \times 10^{10} \text{s}^{-1}$ 。理论推导可以得出,电磁波在大气层的等离子体中传播单位距离的衰减可以近似表示为^[1]

$$\zeta = \frac{0.459 n_e \nu}{\omega^2 + \nu^2} (\text{dB/m}) \quad (6)$$

式中 n_e 的单位为 cm^{-3} 。设雷达波长 $\lambda=2\text{cm}$,电子碰撞频率 $\nu=5 \times 10^{10} \text{s}^{-1}$,电子密度 $n_e=1.24 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$,代入(1)、(6)两式,可得 $\zeta=2.51 \text{dB/m}$ 。由此可见,等离子体能够通过吸收雷达波等因素使飞行器隐身,具有可靠的理论依据。

1.2 等离子体隐身已获实验验证

等离子体能够强烈衰减电磁波这种现象,在弹道导弹和返回式卫星及飞船重返大气层时总是出现通讯中断就已经被观察到。20世纪60年代末以来,美国研究了利用附着于飞机表面的放射性核素薄层发出的 α 射线轰击气体分子形成的等离子体使飞行器隐身的方法。在喷气飞机进气口涂以放射性核素,可使射入口内雷达波的吸收多达100dB。

1992年发表的美国防务文献中心研究报告《非磁化等离子体球中电磁波的传播》,描述了陶瓷球壳内用气体放电产生的等离子体球在减小被它包覆的导体的RCS方面所起的作用(图1),该文献也提到,电磁波进入等离子体球造成的衰减多达100dB。

1.3 等离子体隐身技术已达到应用阶段

用于飞行器隐身的等离子体,不论是用核技术产生的还是用非核技术产生的,都已进入应用阶段。

1.3.1 核技术电离等离子体隐身技术

在冷战时期,美、苏两国都多次进行过高空核爆炸试验。试验结果表明,在高空进行大当量(百万吨级)核爆炸,能够在高空形成范围达数百公里的等离子区,称为雷达黑障。美、苏都有利用这种黑障掩护后续弹头的作战方案。这种大范围等离子区对雷达波传播的影响主要有两个因素,一是吸收,这能使雷达接受到的攻击弹头的信号大为减弱;二是折射,这造成雷达波往返传播途径弯曲,雷达显示屏上出现的仅是攻击弹头的虚像,而不是弹头的真实位置。这两个因素都使防御方难以进行有效的拦截。

用核技术产生等离子体使飞行器隐身的另一种方法,是上面已经提及的运用放射性核素产生的等离子体,主要运用电离能力最强的 α 放射性核素。在核弹头表面某些部位贴上一层重量仅数百克的具有合适半衰期和足够活度的放射性核素膜,并将弹头置于具有特定气体的气袋中,就能构成颇为有效的隐身系统。适当设计气袋的外形,还能使TMD和NMD拦截弹上的计算机误以为它是普通充气假目标。

1.3.2 非核技术电离等离子体隐身技术

用非核方式产生等离子体的隐身技术,美国早就进行过研究。近期引起广泛注意的是去年初媒体报道的俄罗斯凯尔德什(KELDYSH)研究中心的等离子体隐身技术。该中心产生等离子体的方法是电弧放电。其负责人称,他们研制的等离子体隐身装置能使苏-27飞机的RCS减小到0分贝,即 1m^2 。

综上所述,从隐身机理、实验验证和应用研究的进展看,等离子体隐身是可行的。

2 等离子体隐身的优点与缺点

等离子体隐身是一种既有突出优点又有明显缺点的隐身技术。了解这一事实,有助于今后有针对性地有

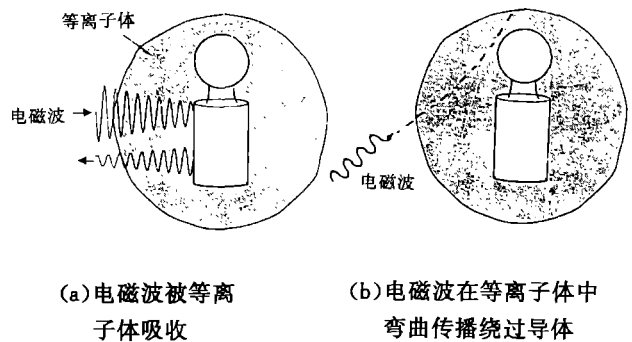


图1

选择地开展等离子体隐身技术研究。

2.1 等离子体隐身的优点

(1) 具有较大的吸波带宽, 高于等离子体频率的雷达波都能进入等离子体并被衰减。设法使飞行器周围的等离子体电子密度由表面外呈递减分布, 能够使各种频率的雷达波都进入等离子体。尽管进入的深度不同, 但却能够进一步增加吸收带宽。

(2) 隐身的因素多。如前所述, 除吸收能减少雷达回波外, 等离子体还能折射雷达波, 这将使雷达回波进一步减弱。此外, 等离子体对雷达波造成的频谱离散和交叉调制, 都不利于雷达发现目标。

(3) 在隐身的同时能够产生假目标。适当设计等离子体隐身装置, 一方面大量减少雷达波的后向散射, 使飞行器隐身, 另一方面利用专门设计的具有锐边界的等离子体还能作为转发器和天线, 能够将与它共振的雷达波经延迟后转发回去, 在雷达上产生一个与飞行器位置不同的假目标。俄罗斯专家声称, 他们研制的第三代等离子体隐身装置具有这一功能。

2.2 等离子体隐身的缺点

(1) 产生等离子体并维持一定的电子密度和范围需要消耗能源。飞机利用其隐身会减小作战半径。

(2) 产生等离子体需要分子原子作为电离对象, 这给在真空中飞行的卫星和战略导弹利用等离子体隐身造成了困难。

(3) 飞行器在较低高度飞行时等离子体隐身效果较差。因高度低、空气密度大, 其复合速率大所造成的。

(4) 用电弧放电的方法产生等离子体的同时, 会产生射频辐射、强烈的闪光和紫外线, 等离子体复合也会产生光辐射。这些信号泄露不仅对隐身不利, 而且紫外线也可能使飞行员受到伤害。

(5) 飞行器所用的等离子体在吸收对方雷达波的同时, 对其本身的通信、导航、雷达和敌我识别信号的传输都能造成衰减, 甚至中断。

3 作战飞机运用等离子体隐身的可能性

对作战飞机而言, 利用等离子体实现对雷达隐身的一个突出优点是不会改变飞机原有的升限、速度和气动特征。用等离子体使作战飞机具有部分隐身性能, 也不需要从整体上改变飞机的原有设计。

用等离子体使作战飞机具有一定的隐身功能, 要做好以下三项工作: 一是要解决电力供应; 二是要选择适当的等离子体发生器并将其安装于飞机的适当部位; 三是要设法消除或减轻等离子体对通信、导航、机载雷达、指挥控制和敌我识别的不良影响。这三个问题解决好了, 作战飞机用等离子体隐身是完全可能的。

参 考 文 献

- [1] 谢铭勋. 再入遥测技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1992.

Plasma Stealth Technology and the Possibility of Applying It to Aeroplanes

LING Yong-shun

(The Electronic Engineering Institute of PLA, Hefei 230037, China)

Abstract. Since 1960s the United States and the former Soviet Union have been carrying out plasma research because plasma can absorb or reflect radar electromagnetic waves. Up to now they have applied plasma stealth technology to some weapons. This has attracted much attention of domestic experts. This paper explains why and how plasma can interfere with radar waves. By analyzing the advantages and disadvantages of the technology, it concludes that plasma stealth technology can be applied to military aeroplanes after three main problems are solved.

Key words: plasma; stealth; aeroplane