

飞行器隐身技术研究现状

白希尧¹, 依成武¹, 白敏², 储金宇¹, 杨波², 孙健²

1. 江苏大学环境学院, 江苏镇江 212013
2. 大连海事大学物理系, 辽宁大连 116026

[摘要] 飞行器隐身技术在提高目前兵器的突破能力和纵深打击能力方面发挥了越来越重要的作用, 美俄等军事强国宣称已将等离子体隐身技术应用于军事装备。美国 F-16 战斗机设计师和英国 *Topgun*(《尖端武器》)杂志主编在 *Jane's Defence Weekly*(《简氏防务周刊》)上指出, F-22 隐形战斗机并不是我们想要的; 而前南斯拉夫人民空军与防空部队使用落后的雷达锁定美 F-16 战斗机, 并用老式导弹击落, 宣布美国采用的磁性材料涂敷、结构设计和等离子体技术等三位一体的协同隐身技术的失败。为此, 我国不能再跟踪模仿国外军事强国的失败技术, 应该自主创新, 尽快研制出微型、低能耗的高浓度等离子体源, 并使之成功地装备于我国的飞行器上。

[关键词] 飞行器; 气体电离放电; 等离子体源; 隐身技术

[中图分类号] TJ761.1, V250.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)04-0053-04

State of Art of Investigation on Stealth Aircraft

BAI Xiyao¹, YI Chengwu¹, BAI Mindi², CHU Jinyu¹, YANG Bo², SUN Jian²

1. Department of Environment, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu Province, China
2. Department of Physics, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning Province, China

Abstract: Stealth technology of aircraft plays a more and more important role in improving weapons on power of breach and attack in depth, and it was reported that military powerful nations like the USA and Russia had applied plasma stealth technology to military equipments. The designer of F-16 fighter of the USA and the chief editor of *Topgun* pointed out in *Jane's Defence Weekly* that "F-22 stealth aircraft is not ideal like what we want" and the fact that F-16 fighter produced by the USA was detected by Yugoslavia radars, not very advanced in technology and was shot down by outdated missiles indicates that the stealthy is not effective using coating radar absorbing materials, configuration design and plasma. In order to solve above problems and develop military weapons by plasma stealth technology in China, one has to follow the guideline of innovation and self-reliance and to use non-equilibrium plasma sources with low energy consumption and high ionization degree.

Key Words: aircraft; gas ionization discharge; plasma source; stealth

CLC Numbers: TJ761.1, V250.3

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)04-0053-04

0 引言

飞行器隐身技术在提高目前兵器的突破能力和纵深打击能力方面发挥出越来越重要的作用, 我国已将等离子体隐身机理研究列入国家自然科学基金重大资

助项目课题。等离子体隐身技术具有难以比拟的优势, 因而成为新概念的飞行武器防御系统, 在军事上具有极高的潜在应用价值, 将成为隐身技术发展的新的突破方向, 以及世界军事强国竞相研究的焦点^[1-11]。

收稿日期: 2006-10-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(60471036, 50578082)

作者简介: 白希尧, 男, 江苏大学环境学院, 教授, 主要研究方向为气体电离放电、等离子体物理及环境工程等;

E-mail: yangbo@newmail.dlmu.edu.cn

依成武(通讯作者), 男, 江苏大学环境学院, 副教授, 主要研究方向为高电压电离工程及其环境工程应用研究;

E-mail: yichengwu0943@163.com

1 军事强国相关研究现状

近期,俄罗斯 Keldysh 研究中心进行的气体电离放电等离子体飞行器隐身研究被媒体认为是先进的,并称已应用于米格战机上。他们研制出的等离子体源重量近 100 kg,功耗达数十千瓦,并进行了雅克 141 模型的风洞实验^[9-10],装备 4 台等离子体源,其重量约为 300 kg,功耗将达约 200 kW;还需携带大量液体(加热气化成等离子体源的原料气体),可见此项技术很难应用于战斗机上。从俄罗斯引进的等离子体发生器也证实了这一点。我国的一些学者跟踪研仿 1992 年美国 Gregoire 等^[1]撰写的“非磁化等离子体中电磁波的传播”报告中介绍的等离子体隐身模型实验,进行了大量类似的跟踪研仿工作,发现同样存在难以将充有氙气的玻璃真空罩安装在飞行器的突出部位上,因而不具备实用价值。美国近期成立了航空航天实验室,并进行了等离子体隐身研究,2000 年 David Hambling^[12]公开指出该实验室并没有获得较好的结果,并认为这是时间和资金上一个巨大的浪费,应引以为戒;同时,他还指出美国 Northrop 公司 1978 年开始研制的 B-2A 型战略轰炸机(耗时 13 年,耗资 400 多亿美元)是采用气体电离放电产生的等离子体、磁性材料和隐身结构设计等三位一体的方法实现的隐身目的,同时将阻力减少了 10%,改善了飞机动力学性能。此研究成果还应用于高级侦察机改型机 YF-23A 上。另据 2006 年 3 月美国《航空周刊与航天技术》报道,美国海、空军已研制成功 AGM-158A 型隐身(等离子体、材料和结构隐身)远程导弹(JASSM),并计划于 2009 年将射程超过 400 km 的 AGM-158A 导弹投入现役,澳大利亚政府也将购买该导弹以满足对 AIR 5418 改进型武器的需求。美国、俄罗斯等军事强国宣称已将等离子体隐身、减阻等技术应用于军事装备。

2 美战机隐身技术存在的问题

美国 F-16 战斗机设计师、A-10 攻击机设计总负责人 Pierce Sprey, 和 *Topgun* (《尖端武器》) 杂志主编 James Stevenson 等于 2006 年 9 月 20 日在英国的 *Jane's Defence Weekly* (《简氏防务周刊》) 上发表了“F-22 隐形战斗机并不是我们想要的”文章^[13], 文中指出:1991 年“沙漠风暴”行动中,伊拉克用老式雷达就能发现 F-117 隐身战斗机。原南斯拉夫人民空军与防空部队在 1999 年 3 月 27 日晚,也同样用西方认为落后的苏式 P-12 等老式雷达,准确地发现了美国洛克希德公司生产的全天候亚音速隐身战斗机 F-117 战斗机,并用 70 年代苏制“萨姆-2”导弹把 F-117 战机击落。据原南人民军称,F-117 战机的可视度仅仅减弱了 50%^[14],是可以被发现的。

据美国政府问责局称,没有隐身功能的 F-16 平均每架次的损失率低于隐身的 F-117。为此,美军不得不

取消另外 50 架 F-117A 的订货。近 10 余年来,美国空军推出造价高达 3.5 亿美元的 F-22 战斗机作为 21 世纪的美国战斗机,据称它具备省油、超音速巡航,以及不易被敌方雷达发现的“隐身”等性能。但是,由于 F-22 战斗机采用磁性材料涂复、结构设计和等离子体等三位一体的协同隐身法,因此大大增加了飞机的重量和体积。体积问题是最严重的问题,因为实战是可视的战斗。由于 F-22 比大多数战斗机大得多,就会被首先发现;机身大会影响其转弯和加速等主要性能;并且,为了达到隐身效果,武器必须隐藏在机腹的内置武器舱内,因而无法把握瞬息即逝的接战机会。各种原因使 F-22 战斗机的作战能力大大削弱,使 F-22 战斗机三位一体的隐身所获得的理论上的优势反而成为劣势。美空军在隐身技术研究上不成功的经验是值得借鉴的。

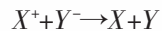
3 需要澄清的几个学术问题

目前,在等离子体隐身研究方面,对于几个有争议问题的探讨,应提倡百家争鸣、百花齐放。这些问题一旦澄清,将有助于该项目的研究进展。

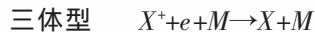
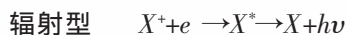
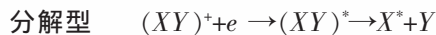
3.1 关于等离子体寿命问题

某些学者及部分文献中均提出等离子体寿命很短的问题^[1],甚至认为等离子体寿命是 ns 级的,因此有些学者专门从事长寿命等离子体的研究,这便形成了一个误区,影响了正常的研究工作。众所周知,等离子体的产生是 fs 数量级的^[15],它在流光放电通道中复合消失的时间是 ns 数量级^[16],可见在电离放电通道区域内,电子、离子的产生和消失时间均在 ns 数量级范围内,是极短暂的。一旦等离子体离开放电通道,等离子体的消失是由其碰撞复合反应所致的。等离子体复合反应如下^[17]。

1) 离子-离子复合反应



2) 离子-电子复合反应



3) 碰壁复合

离子在漂移过程中因与飞行器以及等离子体源表面碰接而消失掉。

上述 3 种反应过程使等离子体消失,否则一直存在下去。在此过程中,存在电荷交换反应,等离子体数量不变,这并不影响等离子体浓度。等离子体一旦离开放电通道,电场对等离子体的作用将大大减弱,等离子体离开其源时电场影响几乎不存在。以大气为例,其中中性粒子密度约为 $2.6 \times 10^{19}/\text{cm}^3$,气体电离度 $\leq 10^{-4}$,即使在强电场电离放电时电离占空比及其输运特性都很理想的条件下,等离子体浓度约为 $10^{12}/\text{cm}^3$,此时等离子体

占有率低于 10^{-6} 。如果不存在严重的涡流、喘流,正负离子的复合率是很低的。因此,等离子体寿命很短的说法是不确切的。

3.2 等离子体源输出的离子浓度问题

2000 年, Eilimonova 等^[18]的研究结果表明,强电场电离流光放电通道中的离子浓度达到 $1.8 \times 10^{14}/\text{cm}^3$, 电离占空比为 10^{-2} ; 等离子体源输出的等离子体浓度最高为 $1.8 \times 10^{12}/\text{cm}^3$ 。射频辉光放电产生的等离子体浓度最大值为 $10^{12} \sim 10^{13}/\text{cm}^3$ ^[11, 19]。有些研究者在研究气压为 $10 \sim 400 \text{ Pa}$ 的射频放电等离子体源时, 测得等离子体浓度高达 $10^{19}/\text{cm}^3$ 以上, 笔者认为是不可能的, 是值得商榷的。从 Roth 的气体密度与压强关系公式^[11]可得, 中性粒子密度为 $2.415 \times 10^{15} \sim 9.66 \times 10^{16}/\text{cm}^3$, 通常气体电离放电的电离度 $n_e/n \leq 10^{-4}$, 就是说射频辉光放电的等离子体源的离子浓度只可达到 $10^{12} \sim 10^{13}/\text{cm}^3$, 与文献中提供数据基本上是一致的。

3.3 电子束等离子体隐身存在的问题

近期, 有些学者提出进行电子束等离子体飞行器的隐身研究, 欲列为重大项目, 这是值得研讨的。众所周知, 电子束产生等离子体的技术是成熟的, 早在 20 世纪 90 年代, 该技术已经成功应用于燃煤发电的烟气脱硫、卫生器件和用品的包装件消毒杀菌上。1996 年, 我国从日本荏原公司和原子力研究所引进了“电子束法烟气脱硫技术”及关键设备(电子加速器), 并在成都热电厂的 200 MW 机组上进行了 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 烟气脱硫脱硝工业示范工程试验^[20]。该项技术如用于飞行器隐身, 将可能存在以下问题: ① 电子加速器存在很强的电磁波, 会污染环境, 干扰电子设备和控制系统, 一旦用在飞行器上, 则需解决电磁波干扰飞行器控制系统及人身安全问题, 这是不现实的, 也是完全不可能的; ② 消耗能量太大, 任何飞行器都无法提供 200 kW 的功率; ③ 电子加速器、直流高压电源、真空系统体积庞大, 飞行器是无法装载的; ④ 靶窗厚度约为 $30 \sim 50 \mu\text{m}$ 的钛薄片, 如此薄的钛板要作为飞行器表面材料是不可能的。

4 自主创新解决飞行器隐身的关键技术

目前, 隐身技术正朝着隐身性能与机动性能较好地统一的方向发展, 同时隐身技术也朝着低成本、易维护的方向发展。我国飞行器所采用的隐身措施, 其缺点是成本太高, 且损失某些重要的战术技术性能。等离子体隐身技术是一种创新的隐身概念, 具有吸波频带宽、效率高、成本低廉、维护简便等优点。等离子体技术并不涉及飞行器本身的空气动力系统, 在不影响被保护飞行器技术性能的同时, 能够大幅度地降低飞行器的被发现概率, 对飞行器外形又没有特殊要求, 可以把不具备隐身性能的现有飞机改装成隐身飞机。由此可见, 等离子体隐身方法在军事上具有极高的潜在应用价值, 必将成为隐身技术发展的新突破方向及世界各军事强国竞相研究的焦点。

由于目前等离子体隐身技术存在等离子体源输出的等离子体浓度低、产成量少、体积庞大、耗能过高等问题, 因此各国的飞行器都没有单独使用等离子体隐身技术。

等离子体隐身技术是一项应用基础研究, 说得更确切些, 应是一项军事装备的研制, 其目标性非常明确。该项研究的立足点应建立在战备需求上, 而不只是限于实验室的研究, 更不能锁定在机理上的可行性研究。应以战备急需为主, 并以空战环境及飞行器可能提供的条件为依据, 从实际出发, 研究一种满足战备需求的飞行器隐身技术及装备。为了推动等离子体隐身研究, 提出以下建议供参考。

1) 产生等离子体的原料气体应以大气为主, 不应单纯为解决电离难度而使用氩气等稀有气体。由于高速飞行, 飞行器表面形成动态等离子体层, 所需的原料气体量是非常巨大的, 约为 $10^6 \text{ m}^3/\text{h}$, 如此大量的气体量仅靠地面提供氩等稀有气体是无法实现的。

2) 等离子体源应微型化, 且有利于安装在飞行器强反射部位和进气道壁上, 同时源的表面材料应具有坚硬耐磨、抗冲击的性能; 等离子体源本身形状也应具有隐身性能。目前, 根据相关学科研究的最新进展, 有可能把等离子体源体积减小到约 6 cm^3 。

3) 等离子体源耗能要小, 使用于一架战斗机的功耗应小于 1 kW。

4) 加强高气压强电场电离放电方法的研究, 以便解决氮氧气体分子的电离能问题; 加强电离占空比和等离子体输运特性等科学基础问题的研究^[21], 以便解决等离子体源体积、等离子体浓度及功耗等问题。

5 结论

我国有关等离子体隐身的科技工作比较落后, 从事等离子体隐身研究和科技管理工作人员掌握的资料常常是 20 年前国外公开发表的不成功或者不能用于飞行器隐身的文献报道及媒体的报道; 更甚者, 有些文献还进行了有意的误导。军事强国在整个研制、生产和使用等离子体隐身过程中均处于严格保密状态, 要获得真实有用的资料是非常困难的, 但是我们不能盲目地跟踪研仿军事强国 20 年前发表的文献, 因为即使研仿成功也已经落后多年。

目前, 美国研究的隐身飞行器均采用外形、磁性材料和等离子体 3 种方法协同作用达到隐身的目的。这就是说, 任何一种方法单独使用都难以达到隐身的目的, 即使 3 种方法一起使用, 也在某个波段上达不到文献所报道的雷达散射截面积衰减 $20 \sim 30 \text{ dB}$ ^[2, 4]的效果。战场上实战检测的数据表明, F-16 战斗机并非如美国所说的完全看不见, 只是它的可视度减弱了 50%, 这才被前南斯拉夫用老式电子管雷达抓住, 被并不先进的“萨姆-2”导弹击落。

根据当今美国研制成功的战机隐身存在的问题及

我国的研究现状,笔者认为不能再研仿跟踪军事强国10年的前或者现在的隐身技术,因为这不仅耗费财力,还可能是在研仿不成功的技术。

我国目前等离子体隐身研究正处于关键时期,希望能认真思考,这不仅是学术研究,而且涉及到国家安全。面临着不断变化的国际新形势,美国新公布的《4年防务评估报告》已将中国视为最大的潜在对手;近期日本自卫队也已将中国作为潜在的威胁。我们认为,我国的隐身技术研究应走“两弹一星”、载人航天的自主创新的研究路线,走适于我国国情的等离子体隐身技术路线,努力解决其中现存的关键性科学问题,而不应走美国耗资巨大的等离子体、橇附隐身材料和外形隐身设计等三位一体的技术路线,为此方能尽快地装备我国的飞机、卫星、导弹、舰船、坦克等,加快我国武器装备的现代化进程。

参考文献 (References)

- [1] GREGOIRE D J, SANTORU J, SCHUMACHER R W. Electromagnetic-wave propagation in unmagnetized plasmas[R]. AD-A250710. 1992.
- [2] 莫锦军, 刘少斌, 袁乃昌. 等离子体覆盖导体柱宽带散射特性分析. 微波学报, 2003, 19(1): 20-24.
MO Jinjun, LIU Shaobin, YUAN Naichang. Analysis of wide band scattering for perfectly conducting cylinder[J]. J Microwaves, 2003, 19(1): 20-24.
- [3] APPARTAIM R, MEZONLIN E D, JOHNSON J A. Weakly ionized plasmas in aerospace applications [J]. AIAA J, 2002, 40(10): 1979-1983.
- [4] 刘少斌, 莫锦军, 袁乃昌. 电磁波在不均匀磁化等离子体中的吸收[J]. 电子学报, 2003, 31(3): 372-375.
LIU Shaobin, MO Jinjun, YUAN Naichang. Research on the absorption of EM-wave by inhomogeneous magnetized plasmas[J]. Acta Ele Sin, 2003, 31(3): 372-375.
- [5] LIU Shaobin, MO Jinjun, YUAN Naichang. FDTD Simulation of electromagnetic reflection of conductive plane covered with inhomogeneous time-varying plasma[J]. Intern J Inf Mil Waves, 2002, 23(12): 1803-1815.
- [6] 刘少斌, 张光甫, 袁乃昌. 等离子体覆盖三维立方散射目标 RCS 的 FDTD 分析[J]. 物理学报, 2004, 53(8): 2633-2637.
LIU Shaobin, ZHANG Guangfu, YUAN Naichang. Finite-difference time-domain analysis on radar cross section of conducting cube scatterer covered with plasmas[J]. Acta Phys Ele Sin. 2004, 53(8): 2633-2637.
- [7] IEEE International Conference on plasma, IEEE Conference Record-Abstracts[C]. USA: 1990.
- [8] 白希尧, 张芝涛, 杨波, 等. 强电场放电非平衡等离子体飞行器的隐身方法研究[J]. 航空学报, 2004, 25(1): 51-54.
BAI Xiyao, ZHANG Zhitao, YANG Bo, et al. Investigation method of stealth aircraft using non-equilibrium plasma in strong electric-field[J]. Chin J Aeron. 2004, 25(1): 51-54.
- [9] 陆红. 飞行器利用等离子体隐身的原理及应用[J]. 飞航导弹, 1999, 6: 22-25.
- LU Hong. Theory and application of plasma in stealth aircraft[J]. Wing Mis J, 1999, 6: 22-25.
- [10] 孙宗祥. 等离子体隐身技术的发展现状及关键技术[J]. 流体力学实验与测量, 2000, 14(2): 115-116.
SUN Zongxiang. Actuality of investigation in stealth aircraft and key techniques [J]. Exp Meas Fluid Mech, 2000, 14(2): 115-116.
- [11] ROTH J R. Industrial plasma engineering[M]. Voll: Principles, IOP Publishing Ltd, 1995.
- [12] HAMBLING D. Plasma stealth [J]. New Scientist, 2000, 168(2264): 60-60.
- [13] SPREY P, J STEVENSON. F-22 is not what we want[N]. Jane's Defence Weekly, 2006-09-20.
- [14] 宋文富. 我们才真正是隐形的——美国 F-117A 隐形战机被击落揭密[N]. 光明日报, 2006-04-07.
SONG Wenfu. Ours is real stealth: The secret of being shot down of American F-117 [N]. Guang Ming Daily, 2006-04-07.
- [15] 孙存普, 张建中, 段绍瑾. 自由基生物学导论[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社. 1999.
SUN Cunpu, ZHANG Jianzhong, DUAN Shaojin. Free-radical biology introduction [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1999.
- [16] ELIASSEN B, HIRTH M, KOGELSCHATZ U. Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharges [J]. J Phys D: Appl Phys, 1987, 20: 1421-1437.
- [17] 熊年禄, 唐存琛, 李行健, 等. 电离层物理概论[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1999.
XIONG Nianlu, TANG Cunchen, LI Xingjian, et al. Physics conspectus in ionosphere [M]. Wuhan: Wnhan University Press, 1999.
- [18] EILIMONOVA E A, AMOIROV R H, KIM H T. Comparative modeling of NO_x and SO₂ removal from pollutant gases using pulsed-corona and silent discharges [J]. J Phys D: Appl Phys, 2000, 33: 1716-1727.
- [19] 赵化侨. 等离子体化学与工艺[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1993.
ZHAO Huaqiao. Plasma chemistry and its application [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1993.
- [20] 郝吉明, 王书肖, 陆永琪. 燃煤二氧化硫污染控制技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
HAO Jiming, WANG Shuxiao, LU Yongqi. Control and technical manual on SO₂ pollution during coal burning [M]. Beijing: Chemistry and Industry Press, 2005.
- [21] 等离子体物理学科与发展战略研究组. 核聚变与低温等离子体——面向 21 世纪的挑战 and 对策 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
Subject research team for plasma physics and development strategies. Nuclear fusion and plasmas at low temperature: Challenge faced with 21st century and Countermeasure[M]. Beijing: Science Press, 2004.

(责任编辑 朱宇)