

临近空间发展现状与关键技术研究

景晓龙¹ 张建伟² 黄树彩¹

(1. 空军工程大学导弹学院, 三原 713800;

2. 93380 部队, 黑山 121403)



摘要: 临近空间以其独特的地理位置越来越受到世界各国的重视, 已成为维护国家安全和利益的新的战略制高点。文章主要介绍了临近空间的定义及其特点, 同时详细分析了国内外临近空间的发展现状以及临近空间发展的关键技术。

关键词: 临近空间; 临近空间飞行器; 空天信息; 关键技术

Development Actuality and Key Technology of Near Space

Jing Xiaolong¹ Zhang Jianwei² Huang Shucui¹

(1. The Missile Institute of Air Force Engineering University, Sanyuan 713800; 2. Unit 93380, Heishan 121403)

Abstract: Near space gets more and more attention around the world because of its special geographical position. It has been a new strongpoint for protecting national interest. This paper introduces the definition and characteristics of near space, and analyzes the domestic and overseas development actuality of near space, as well as the key technology.

Key words: near space; near space aircraft; air-space information; key technology

1 引言

最近几场高技术局部战争表明, 现代战争正向着信息化方向发展, 制空权、制天权和制信息权更加密不可分。美军作战越来越依赖空天信息优势, 一方面加强其空间信息优势的获取和利用, 另一方面极力发展遏制他国获得空天信息优势的能力, 以保持其信息化作战的优势。

在空天战场日益呈现出高度融合趋势的今天, 临近空间的存在, 已构成对空天一体化战场、一体化力量和一体化作战的严峻挑战, 不征服这一区域就谈不上真正的空天一体。临近空间飞行器作为世界各国军队未来夺取空天信息优势的重要环节, 起到承上启下、补缺补遗、信息加强、信息协同的关键作用。因此, 临近空间的开发利用已逐渐成为各国战略上的研究重点。

2 临近空间的定义

临近空间的概念早已提出, 目前, 国际上对于临近空间的具体高度范围没有统一定义, 国内外多数文献认为, 临近空间通常是下限 20~30km, 上限为 100~150km 的空域^[1]。很多传统意义上的航空飞行器(如 U2)飞行高度已超越 20km, 某些航天器也能紧急机动到 120km 左右高度的空间, 因此, 30~120km 是典型的临近空间空域。这一空域大致包括大气平流层区域、中间大气层区域和部分电离层区域。这一空域的下限是常规航空飞行器飞行的上限, 其上限是航天飞行器飞行的下限, 因此也被称为空天过渡区。

3 临近空间的特点^[2~4]

在这一区域, 自然环境相当严酷: 空气稀薄、气

作者简介: 景晓龙(1985-), 硕士, 导航、制导与控制专业; 研究方向: 多传感器协同探测与防空反导作战。

收稿日期: 2011-02-25

温极低,但气象状况不如航空空间复杂,雷暴闪电较少,也没有云、雨和大气湍流现象;虽然臭氧和紫外线的腐蚀性对平台材料有很高要求,但也没有航天环境那么苛刻。临近空间只有上层处于电离层中,37km以下不用考虑电离层影响。最为重要的是万有引力和开普勒宇宙定律均不能在临近空间独立发生作用,使得遵循万有引力的常规航空飞行器和遵循开普勒宇宙定律的常规航天飞行器均不能在其间自由飞行。

临近空间是航天空域和航空空域的结合部,是空天一体化作战的战略要地,是“陆海空天电”五维一体化战场的重要组成部分,是国家安全体系中的一个重要环节。临近空间平台与空基平台和天基平台相比,临近空间平台在耗资、存留时间、响应性、覆盖地区、分辨率和飞跃领空方面都具有显著的优势。

3.1 探测覆盖范围大,分辨率高

临近空间平台不像卫星平台那样受到轨道力学的限制,也没有空基平台那样高燃料的消耗,可以在特定位置对地面直径达850km区域持久覆盖。

军事上常用的侦察照相卫星轨道一般为300km左右,提供的照片分辨率有限而且信号容易受电离层干扰。侦察飞机可以有重点地对某一区域进行侦察,而且提供的照片分辨率比较高,但是覆盖区小,需要冒险进入对方领空,容易被击落和受到国际法的约束。使用临近空间飞行器可以在敌方领空以外部署,升入临近空间,然后进入工作区上空,在30km左右的距离,可以提供比卫星的分辨率高得多的照片,并且覆盖区较大,完全能够满足区域作战的需求。

3.2 连续探测预警时间较长,效费比高

大部分的LEO卫星每次对预定的探测范围的探测时间少于15min,并且要经历多次的绕地循环才能实现对其某一特定区域的重复探测。目前,“全球鹰”探测系统可以提供最长达1d的连续预警,空气动力学探测器(如预警飞机、无人侦察机等)的探测时间受到巡航时间的限制,不能满足需求。而临近空间探测预警器可在临近空间平台全部使用寿命期间内进行探测,故可以提供连续长时间的预警。利用现有的技术,临近空间飞行器可以在临近空间巡视时间长达6个月左右,预计不久的将来能达到数年之久。在提供如此长连续预警时间的同时,临近空间飞行器的造价却很低。有数据表明:廉价的低端带过载浮空器每个耗资1000万美元;带过载的战术或战役高端临近空间平台据估耗资百万美元左右;而美国现有的执行同类任务的廉价卫星也要耗资5000万美元,如“快

鸟”-1卫星耗资6000万美元;挂载450lbs载荷的“捕食者”无人机在15000~25000ft的高度飞抵400mile外,然后巡航14h回到基地,耗资450万美元;而用氦气充填的热气球可在20276km高度上飞行8h,每小时成本仅300美元;美国“攀登者”的造价仅为50万美元,远远低于任何一种有人驾驶侦察机,还不到RQ-4“全球鹰”无人侦察机的40%,甚至仅为人造卫星的1/20。而且临近空间飞行器可以灵活地发射和回收,可重复利用。因此,具有很高的效费比。

3.3 受攻击威胁少,生存率高

美国空军航天司令部对临近空间系统进行了易损性评估。评估报告认为临近空间平台不易遭受导弹或炮火的攻击,因为它们红外特征很弱。而且,轻于空气的飞行器即使被击穿了也不会很快地降落。如加拿大空军战斗机发射了1000发子弹,也没能击落一个失控的科学试验气球,足见其生存能力之强。

目前,世界上现有的以飞机、地空导弹和巡航导弹为代表的所有航空器和以卫星、宇宙飞船和航天飞机为代表的航天器都无法在临近空间自由飞行。世界上只有少数几个型号的地空导弹射高在20km以上,并且其典型目标是具有较大目标反射截面积(RCS)且机动性较差的空中目标。外太空武器也尚处于实验阶段。因此,临近空间便成了相对安全的“真空”层。同时,临近空间飞行器自身的机构和飞行特点决定其生存能力强。目前,用于实验的多种临近空间飞行器的雷达反射截面积(RCS)只有0.01m²左右,不易被雷达探测发现。同时,与其他空间飞行器相比,临近空间低动态飞行器飞行(漂移)速度比较慢,不易被现代多普勒体制雷达发现。

当然,临近空间预警探测器也存在很多缺点和技术制约。由于临近空间飞行器一般是大型的充氦气球和飞艇,有很大的受力面积,在经历对流层的风和气流时很容易偏移预定航线,这对飞行器的发射、机动和回收都将带来不利的影响。同时,相关材料学和智能控制技术发展的落后也阻碍其快速发展。

总之,运行在空间范围的卫星易受干扰、成本高、部署周期长、损失后不易补充,运行在航空范围的飞机成本高、覆盖区域小、易受打击、生存力差、损失后不易恢复,而临近空间飞行器加入陆、海、空、天信息网络系统后,将进一步实现信息获取和利用手段的多元化和一体化,明显提高体系的抗摧毁能力和抗干扰能力。

4 国内外临近空间发展状况

4.1 国外发展现状

美国是最早研究临近空间应用的国家,目前美军开发的临近空间平台主要有两大类:低动态飞行器和高动态飞行器。低动态飞行器一般有高空气球、高空飞艇、升浮一体飞行器、太阳能无人机和亚声速飞行器等;高动态飞行器一般有(高)超声速动力巡航飞行器、无动力滑翔式再入飞行器和亚轨道飞行器等。实际上临近空间飞行器是一个搭载平台,在该平台上可以搭载诸如可见光、红外、多光谱和超光谱、雷达等信息获取载荷,用于提升战场信息感知能力,支援作战行动;也可以利用该平台搭载各种攻击性武器对敌实施攻击,直接打击目标;还可以搭载各种电子对抗载荷,实现电子/磁压制,破坏敌方信息系统;搭载通信及其他能源中继载荷,用于战时应急通信、通信中继和能源中继服务。

早在 1996 年美国已经在“山顶实验”中用到了一架 E-3 “哨兵”预警机^[5]。

从 2003 年初开始,位于美国科罗拉多州施里弗空军基地的美国空间作战实验室和空间休战中心开始联合研制一种半自动的轻于空气的“临近空间机动飞行器(NSMV)”,该计划飞行器的原型样机被命名为“攀登者”号^[6],见图 1。

2005 年美国空军航天司令部进行为期 3 个月的临近空间军事应用研究。其研究结论是:临近空间确实具有军事应用价值,气球是一种可靠的临近空间平台,除用作通信中继外,还有许多其他用途。



图 1 “攀登者”临近空间机动飞行器

2006 年 1 月美空军科学顾问委员会(AFSAB)内部发行一份由资深技术顾问小组撰写,题为《在临近空间持续存在》的研究临近空间的报告。探索了近期(到 2010 年)的选择方案、中期(到 2020 年)的机遇和远期(2020 年以后)的概念。

2006 年 7 月 22 日,美国举办“临近空间”主题

研讨会,拟达成一份未来合作计划,进一步推进临近空间概念的深入研发。

2007 年美国航空环境公司研制了“太阳神”(Helios)无人驾驶太阳能飞机,飞行高度 30km,爬高速度 33m/s^[7],见图 2。



图 2 Helios 高空无人机

2010 年 4 月 23 日美国研制的 X37B 太空战斗机发射升空。

除美国以外,英国、俄罗斯、印度、法国、日本、以色列等国家都在积极开展临近空间飞行器方面的研究。

目前,英国先进技术集团(ATG)公司正在进行军用运输飞艇的研制。

俄罗斯浮空飞行学会正在从事大荷载飞艇的研制工作,见图 3。

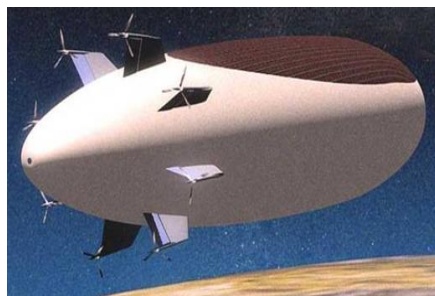


图 3 俄罗斯的高空飞艇概念图

日本成立了由众多研究机构和大型企业组成的高空信息平台开发协会,计划发射 20 个以太阳能/燃料电池为动力的高空飞艇平台,见图 4,驻空高度 20km,覆盖整个日本群岛。

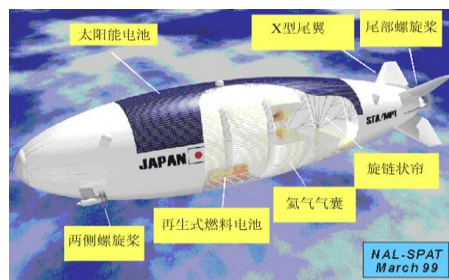


图 4 日本的高空飞艇

4.2 国内发展现状

国外临近空间的应用技术研究处在蓬勃发展之中,但是国内还没有可实际应用的高空飞艇推进技术,研究较多的主要是用于低空飞艇推进的常规燃气涡轮发动机或活塞发动机驱动的螺旋桨和涵道推进器。例如,中国特种飞行器研究所研制的FK-4型载人氦气飞艇,容积 2011m^3 ,最大升空高度 1800m ,巡航飞行速度 80km/h ;成都神舟飞行器有限公司制造的ST-3飞艇,长 17.63m ,容积 150m^3 ,填充氦气,最大飞行高度 2500m ,飞行速度 75km/h 。

近年来,国内对临近空间飞行器的关注力度逐渐加大,2006年4月国家自然科学基金委员会在北京组织召开了“临近空间飞行器的发展趋势和重大基础科学问题研讨会”。

国内多家单位如湖南航天近空间飞行器研发中心、中国科学院国家天文台、紫金山天文台、空间科学与应用研究中心、中国气象局空间天气监测与预警中心、空军装备技术研究院、北京大学、武汉大学、中国科学技术大学、中国电波传播研究所、国防科学技术大学、空军工程大学、中国航天总公司、中国电子科技集团、华中科技大学、北京航空航天大学等一大批单位在临近空间的开发方面也都展开了积极的研究,并取得了一系列理论成果。

5 关键技术

临近空间飞行器兼有航天飞行器和航空飞行器两方面的优势,在夺取战场信息优势和空天优势、突破敌方导弹防御系统实施远程精确打击以及空天对抗作战等方面将发挥至关重要的作用,是遏制和打赢未来信息化战争的新的战略威慑手段与“杀手锏”装备。

5.1 低速平台关键技术

5.1.1 飞行器材料技术

飞艇的材料除了要具有一定的力学性能以承载内外作用力之外,还要求耐低温、抗温度交替或梯度变化、耐太阳辐射,而最基本的要求是单位面积的重量要轻——因为飞艇要上升到 25km 以上的高度,艇身的自重可能占飞艇总重的 $70\%\sim 90\%$,上升的高度愈高,自重所占比重愈大。因此,降低材料的单位面积重量极为重要。

5.1.2 燃料能源技术

飞艇和无人机携带任务载荷维持数据通信进行

机动与定位都需要消耗能量。临近空间存在着紊流区域,尽管平均风速不大,但驻留时克服风的扰动的功耗依然占较大比例。高空平台可以利用太阳能但仍然需要配以高能量密度电池构成组合电源才能维持不间断供电。目前电池的能量密度水平尚低、电池组重量很大,严重制约了高空平台的上升高度。此外,太阳能电池只能采用薄膜式而不能采用帆板式,否则阻力造成的功耗将大大增加。鉴于民用领域对太阳能氢燃料电池等的开发力度较大,军方也高度重视对致密能源的研究,估计能源问题有望在未来10年得到解决。

5.1.3 飞行器飞行动力技术

飞艇和无人机需要动力来控制上升过程和机动定位。低速或静止的飞艇采用电动螺旋桨产生推力的可行性在高度 30km 的临近空间已得到飞行验证,但随着高度进一步上升,电动螺旋桨可能会力不从心。目前有人主张采用低温等离子体推进技术、光电池和核燃料推进技术,但这些新概念动力推进系统尚待攻关与验证。

5.1.4 飞行器飞行控制技术

控制问题包括采用零压体制的飞艇在上升过程中,随外界大气压力和温度进行飞艇容积与上升速度的控制;飞艇和无人机从地面到预期驻留点的路径规划与控制;在预期驻留高度上的机动和准静止定位控制;平台上任务设备的控制以及可能需要的释放、回收控制等。难点在于上升至预期驻留点的控制以及回收控制,因为这些过程不仅时间较长,而且受外界大气环境影响的不确定性比较大。

5.2 高速平台关键技术

5.2.1 飞行器结构一体化和优化设计技术

飞行器结构一体化和优化设计技术包括飞行器气动布局、发动机在飞行器中的布局、飞行器总体结构优化设计等,甚至还包括有效载荷与飞行器的一体化设计。目的是使飞行器结构紧凑,结构质量轻,升阻比高,并且具备隐身功能。以推进系统为例,组合动力方案的一个突出优点就是结构简单紧凑,但不同模态对燃烧室流道的要求互相冲突,这就存在一个问题,如何将多种模态的发动机结构设计得紧凑合理,使发动机性能最优,因此发动机一体化设计就显得非常重要。

5.2.2 动力推进技术

5.2.2.1 高速巡航组合动力技术

RBCC、TBCC等组合动力技术是发展高超声速

技术的关键,也是高超声速飞行无人机推进系统发展的关键。存在众多的技术问题亟需解决:进气道技术、燃烧室技术、燃料技术、热结构和材料技术等。超声速燃烧的问题曾经是 RBCC 第一次研究宣告终结的一个原因所在,但在二十世纪八、九十年代,这项技术得到了突破性进展,获得了很大的成功。这种技术在 RBCC 推进中会有什么样的问题,会遇到什么样的困难还有待深层研究。

高速巡航组合动力方案的最大特点就是在不同的飞行状态下采用不同的工作模式,以期达到最佳性能,因而模态间的过渡与转换问题也就显得十分突出。在什么样的速度下,在什么样的飞行高度上进行模态间的切换最为合理、最具经济性,这是总体设计中必不可少的内容,也是整体优化中比较难处理的环节。

5.2.2.2 航空发动机和火箭发动机的组合技术

提高航空发动机性能并且进行航空发动机与火箭发动机在结构上的组合和工作模式的转换技术研究是十分重要的。两类发动机结构上的组合包括燃料共享、航空发动机的补氧技术等;不同飞行状态下工作模态的过渡与转换主要包括航空发动机向冲压发动机模式的过渡和冲压发动机向超燃发动机模式的过渡。这不仅与发动机内部的结构有关,也和飞行器的总体设计有关。同时组合中还必须考虑发动机在总体中的布局、总体参数的协调关系等。

5.2.3 热防护技术

目前进行的高超声速飞行器研究,其飞行时间多为数十分钟甚至一至二小时。而无人机则是数小时甚至十几小时,因而其气动热防护问题显得异常突出。飞行器和发动机热结构技术、耐高温材料技术、发动机冷却技术等都是高速巡航飞行器设计中必须应用的关键技术。

5.2.4 飞行控制技术

无人机飞行主要有“自主飞行”和“人在回路中控制”两种方法,目前大多数无人机是按预先编程和人在回路中控制实现自动飞行的。已投入试飞的验证

机则具备一定的自主控制水平可以应急处置突发事件,重新规划机上航路以及进行编队协调的能力。虽然人工智能控制理论和技术的发展较快但要使无人机真正具备高度的自主行为能力,尚有待微处理器技术和仿生科学取得突破性的成果。

另外,在临近空间区域,空气很稀薄,高速飞行器的飞行姿态控制是必须面对的一个难题,可以参照航天飞机等采用喷流控制的方法进行姿态控制。

6 结束语

临近空间有着巨大的军事价值,国内外都在积极研究临近空间的开发应用,对于临近空间开发需求、价值效益等方面的理论研究日趋完善,对于应用方面的研究也在加紧进行中,预计在不久的将来,未来“陆海空天电”五维一体化战场中临近空间将扮演极其重要的角色。

参考文献

- 1 黄伟,陈遂,罗世彬,等.临近空间飞行器研究现状分析.飞航导弹,2007(10):28~31
- 2 刘毅,阳曙光,李为民.临近空间及其在防空反导作战中的应用分析.现代防御技术,2007(12):18~21
- 3 Lt Col Edward B T, Phil D. The paradigm shift to effects-based space: near-space as a combat space effects enabler. College of Aerospace Doctrine, Research and Education, AirUniversity, 2005
- 4 John P. RQ-4A global hawk (TierII+ HAEUAV).http://www.fas.org/irp/program/collect/global_hawk.htm, 17May 2004
- 5 何立萍,韦萍兰.利用浮空器提高临近空间的探测预警能力.航天电子对抗,2009(2):26~28
- 6 郭伟民,等.导弹作战中临近空间飞行器与航天器的协同应用.飞航导弹,2008(5):19~21
- 7 王胜开,全寿文,等.临近空间和临近空间飞行器.现代军事,2008(1):36~39