

临近空间飞行器光电载荷

于 涌 王淑平

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 介绍临近空间的概念和大气特征, 比较临近空间飞行器和航空、航天飞行器的区别与特点, 提供国外近年来临近空间飞行器光电载荷研制情况及热点, 为我国开展此类研究工作提供参考。

关键词: 临近空间; 飞行器; 光电侦察

Photoelectric Payload of Near Space Vehicle

YU Yong, WANG Shu- ping

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China)

Abstract: This paper introduced concept and atmospheric characteristics of near space, compared near space vehicles with satellites and airplanes, summarized overseas recent development and hotspot of photoelectric payload of near space, intended to offer some reference for our national research on near space vehicle photoelectric payload.

Key words: near space; vehicle; photoelectric reconnaissance

1 引 言

临近空间是指介于现有飞机最高飞行高度和人造卫星运行最低轨道高度之间的空域, 也可称亚轨道空间或空天过渡区。大致包括大气平流层、大气中间层和部分大气电离层区域, 距地球表面垂直高度大致在 20~100 km 之间。美国空军认为, 临近空间“这一新的空域既不属于航天范畴, 也不属于航空范畴, 对于情报收集和监视以及通信保障很有发展前景”。更重要的是, 目前世界上绝大多数的固定翼战斗机和地空导弹都无法达到这一高度, 为隐蔽

侦察和突防提供了良好的条件。在此尚未开发的临近空间, 研制飞行器及其配套侦察系统, 将有利于掌握未来战场主动权。

临近空间飞行器及其载荷, 能够在临近空间长时间、持续飞行, 并进行情报收集、监视、侦察(ISR)和通信, 具有航空、航天飞行器所不具有的作用, 特别是在通信保障、情报收集、远程打击、快速突防、电子压制、侦察监视和预警等方面极具发展潜力。它能飞行在敌方战区空域之上, 不易被敌方防空监视系统发现, 从而为作战指挥官提供不间断的监视情报, 以增强其对战场情况的了解能力。

部署这种高空飞行器及其配套设备, 适合现代战争的需求, 应尽快开展研究^[1,2]。

2 临近空间的大气特征

要研发临近空间飞行器, 必须先了解临近空间的大气环境。同时, 还应该注意比较临近空间的大气环境与航空、航天大气环境的异同, 有针对性地制定方案和计划。

大气层是包围在地球表面并随地球旋转的空气层, 它不仅是维持生物生命所必需的, 而且参与地球表面的各种过程。光电侦察任务的执行和效果也避免不了大气环境的影响。地表大气平均压力为 1 个大气压, 相当于每平方厘米地球表面包围 1 034 g 空气。大气随高度的增加而逐渐稀薄, 50% 的质量集中在 30 km 以下的范围内。高度 100 km 以上, 空气相当稀薄, 其质量仅是整个大气圈质量的百万分之一。从理论上讲, 大气越稀薄的地方, 越利于开展光电侦察, 因为大气扰动和大气散射的影响会显著降低。按照大气温度、化学组成及其它性质在垂直方向上的变化, 大气层从垂直高度可以分为对流层、平流层、中间层、热层和逃逸层, 见图 1。

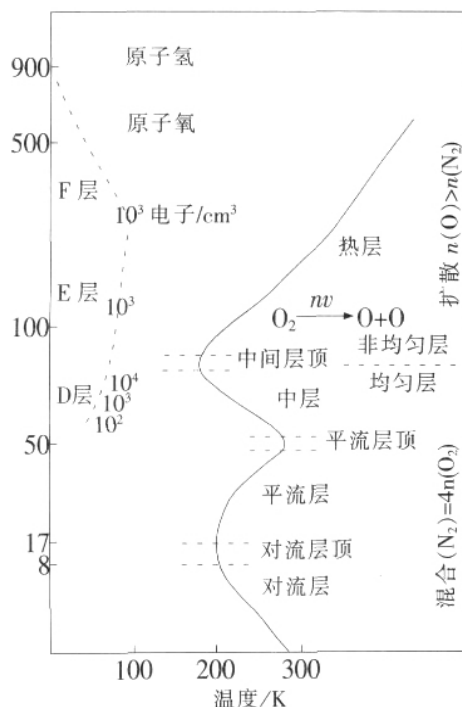


图 1 大气层结构及温度分布

对流层: 它是大气的最低层, 其垂直高度随纬度和季节而变化。顶层在赤道附近, 为 16~18 km; 在中纬度地区为 10~12 km; 两极附近为 8~9 km。夏季较厚, 冬季较薄。气温随高度上升而降低 (大约每升高 100 m, 温度降低 0.6 °C); 密度大, 75% 以上的大气总质量和 90% 的水蒸气在对流层; 污染物的迁移转化过程及天气过程均发生在对流层。对流层顶的气温不再随高度上升而降低, 基本不变, 是一个很稳定的层次, 对流层里的天气影响不到这里。这里经常晴空万里, 能见度极高, 空气平稳, 非常适宜飞机的飞行。

平流层: 从对流层顶向上到 55 km 高空附近。这一层是地球大气中臭氧集中的地方, 尤其是在其下部, 即 15~35 km 高度上臭氧浓度最大, 对紫外线有强烈的吸收作用, 因而这一层又称臭氧层。其特点是空气没有对流运动, 平流运动占显著优势; 空气比对流层稀薄得多, 水汽、尘埃含量甚微, 能见度很高, 便于光电侦察。这一层的最大特点是温度随高度的上升而升高, 到顶部温度增大到最大值。平流层的大气上暖下凉, 大气不对流, 以平流运动为主, 飞行器在其中受力比较稳定, 便于操纵驾驶和姿态控制。飞鸟飞行的高度一般达不到平流层, 因而, 在平流层中飞行就比较安全。

中间层: 从平流层顶向上, 也就是 55~80 km 这个范围被命名为中层大气, 简称中层。在这里, 温度随高度而下降, 大约在 80 km 左右达到最低点, 约为 -90 °C。人们一般把飞行高度达到 80~100 km 的飞行器, 看成是不依靠大气飞行的航天器。按照美国航空航天局规定: 飞行高度超过 80 km 的飞行员即可称为宇航员。

热层: 从中层大气向上到 500 km 左右的范围。之所以称为热层, 是由于这层中的空气分子和离子直接吸收太阳紫外辐射能量, 因而运动速度很快, 和高温气体一样。这里空气极其稀薄, 尽管热层顶的气温可达 1 000 °C (太阳比较宁静时) ~2 000 °C (太阳活动剧烈时), 但实际上却根本不会感到热。

逃逸层: 500 km 以上是外大气层, 这一层顶也就是地球大气层的顶。这里地球的引力很小, 而且空气又特别稀薄, 气体分子互相碰撞的机会很小, 因此空气分子高速地飞来飞去, 一旦向上飞去, 就会进入碰撞机会极小的区域, 最后它将告别地球进入星际空间, 所以外大气层被称为逃逸层。这一层温度极高, 但近于等温, 这里的空气也处于高度电离状态。人类大部分的航天活动都是在逃逸层之内(或附近)进行的。

除了按温度分层外, 根据大气的电磁特性, 还可以将大气划分为中性层、电离层和磁层。中性层是指地面到 60 km 高度, 这里大气各成分多处于中性, 即非电离状态; 60~500 km 的大气层称为电离层; 500 km 以上称为磁层。

地球吸收了太阳辐射能量, 为保持其热平衡, 必须将这部分能量辐射回太空, 这一过程称为地球辐射。地球辐射波长都在 4 μm 以上, 辐射极大值位于 10 μm 处, 即主要是红外长波辐射。地球表面辐射的能量主要被低层大气中的 CO_2 和水汽吸收。地球辐射的波长在 4~8 μm 和 13~20 μm 部分能量很容易被大气中的水汽和二氧化碳所吸收; 而 8~13 μm 的辐射吸收很少, 这种现象称为“大气窗”, 这部分长波辐射可以穿过大气到达宇宙空间。这些特性为临近空间飞行器上传感器工作波段的选择提供了依据。

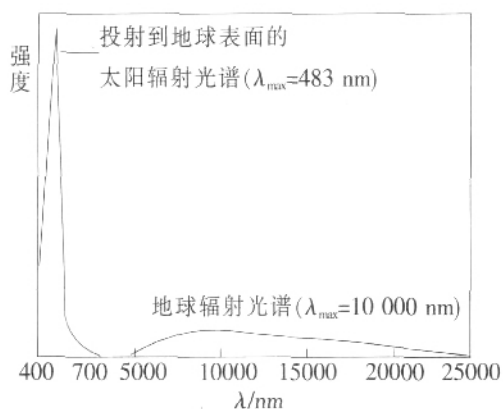


图2 太阳和地球的辐射光谱

3 临近空间飞行器和卫星、飞机的比较^[3]

与卫星和传统飞机相比, 临近空间飞行器具有

其自身的显著特点, 可以作为卫星和飞机的有效补充。

与卫星相比, 临近空间飞行器的优点是: 发射及维护成本低、效费比高、机动性好、有效载荷技术难度小、易于更新和维护。临近空间飞行器距目标的距离一般只是低轨卫星的 1/10~1/20, 可收到卫星不能监听到的低功率传输信号, 同时容易实现高分辨率对地光电观测。其不足是: 观察视角相对小, 临近空间属国家领空范围, 受主权国家领空限制。

与传统飞机相比, 临近空间飞行器的优点是:

(1) 持续工作时长: 目前正在研制的近空间平台预定留空时间可达 6 个月, 规划中的后续平台预定留空时间长达 1 年以上。易于长期、不间断地获取情报和数据, 可对紧急事件迅速做出响应。而且人员保障少、后勤负担轻, 而传统飞机的留空时间则以小时为单位; (2) 覆盖范围广: 临近空间飞行器的飞行高度在传统飞机之上, 其覆盖范围大大优于传统飞机; (3) 生存能力强: 气球或软式飞艇的囊体采用非金属材料, 雷达和热反射截面小而且低速运行, 传统的跟踪和瞄准办法不易发现, 用地基导弹虽然能够攻击到, 但是导弹的成本比临近空间飞行器高得多。其不足是: 充灌氦气的时间较长, 在充气时需要保持稳固, 占地面积较大; 在放飞、通过平流层上升、下降、回收和放气的过程中, 由于其庞大的截面积, 容易受到风和湍流的影响。

表 1 临近空间飞行器和卫星、飞机的比较

	飞机	临近空间飞行器	卫星
工作高度/km	<20	20~100	>200
视角	最小	较大	最大
覆盖范围	局部区域	较大区域	全球
留空时间	若干小时	几天~数年	若干年
定点工作能力	无	有	有
有效载荷技术难度	小	小	大
领空限制	有	有	无

4 临近空间飞行器的国外现状

了解临近空间 (20~100 km) 的大气结构和特点, 结合军事需求, 可以明确临近空间飞行器的任务。由于特殊的工作环境和条件, 临近空间飞行器可比卫星和无人机提供更多更精确的信息 (相对于特定区域), 节省使用费用, 又比通常的航空器减少遭受地面攻击的概率。

在距地面 19.8~24.4 km 的高空, 风速相对较低, 平均 <9 m/s。用临近空间气球进行侦察, 可拍摄比卫星更加清晰的照片, 因为它们距目标的距离只是在轨卫星的 1/10~1/20。但是, 在临近空间, 臭氧的腐蚀和紫外线辐射比地球表面要高得多^[4]。面对未来巨大的作战潜力, 国外许多公司、大学和实验室争相研究临近空间飞行器的概念和型号, 为临近空间飞行器的发展起到了巨大的推动作用。据英国《简氏防务周刊》2005 年 3 月 2 日报道, 美空军航天司令部兰斯·罗德将军表示, 美空军已开始试验用于通信中继和监视平台的高空浮空器 (气球) 的性能。美空军希望尽快开始部署这种临近空间浮空器, 并将继续验证这种浮空器执行信号情报任务的可行性。

美空军用 2 个无系留气球进行试验, 飞行高度为 68 000 英尺 (20 726 m), 连续飞行 8 个小时, 监视范围能够覆盖整个伊拉克。

4.1 高空侦察飞行器 (HARV)

约翰·霍普金斯大学的应用物理实验室 (APL) 投资 25 万美元, 自行开展高空侦察飞行器 (HARV) 概念的研发工作。尽管 APL 已经制定了为期 4 年的计划用于开发、建造和试飞演示验证平台, 但潜在的军方用户已经要求 APL 将时间缩短为 2 年。APL 估计投资 1 200~1 400 万美元就能够开发和试飞 HARV, 时间控制在 2 年左右。APL 负责人说, 自筹资金研究, 是因为他们认为未来的战争确实会对临近空间飞行器有很大需求。现在的作战要求有更持久的监视能力, 飞机、卫星和无人机

(UAV) 仅能够满足部分需要。临近空间飞行器能够在目标上空 30.8 km 处连续工作 2 个星期或 1 个月。如果能够解决价格和快速部署问题, 未来临近空间飞行器将前景无限。

APL 开发的“临近空间”方案是将一个类似于气球形状的飞行器和传感器装载在飞机或导弹上, 用飞机或导弹将其运送到高空后释放, HARV 将自行充气并启动它的太阳能电推进系统和传感器。HARV 将作为一个超视距通信节点/中继或信息监视侦察 ISR 平台。太阳能充电电池能够为 HARV 在某一特定区域进行昼夜工作提供能量。APL 设想的飞行器运载方案解决了飞行器从地面飞入高空可能会遇到的问题, 如遇到强风和破坏性漩涡时飞行器的生存问题。

APL 的研究认为, 可以采用不带战斗部的巡航导弹作为效费比适当的运载器, 在几个小时之内可以通过巡航导弹或飞机将 HARV 快速部署到战区。APL 的工程师认为, HARV 将是一种层流化飞行器, 它能够使用电动推进装置, 太阳能帆板将集成在 HARV 的结构中以减少重量。

4.2 临近空间机动飞行器 (NSMV)

位于科罗拉多州施里弗空军基地的美国空战实验室和空间作战中心, 从 2003 年初就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)。该飞行器可以在临近空间空域长期活动, 集卫星和侦察机的功能于一身, 由地面遥控设备操纵, 能完成高空侦查、勘测任务, 也可用作战场高空通信中继站。

2003 年 9 月, 空间作战实验室开始对 NSMV 原型机进行验证试验。这架原型机由美国 JP 航宇公司制造, 被命名为“攀登者” (Ascender), 作为能够在近太空活动的新型侦察工具。“攀登者”的造价远低于任何一种有人驾驶侦察机。

“攀登者”外形呈 V 形, 全长 53 m, 宽 30 m, 比一个棒球场还大。“攀登者”安装有 2 台由燃料电池驱动的轻型碳纤维螺旋桨推进器, 并由 GPS 系

统进行导航。飞艇舱内充氦气,自身携带的控制系统可以调节各舱室间的氦气容量,以进行空中机动。2003年11月间,未携带任何设备的“攀登者”被释放到30 000 m的高空进行初期验证试验,并在地面控制下返回基地。JP航宇公司还为“攀登者”飞行器进行了配载试验,携带45 kg重的通信和监视传感器设备,升入临近空间区域进行巡航试验,完成地面操作指令及在地面指挥所控制下的转换飞行、点目标上空5 min悬浮、降落、返航等试验任务。计划将在2005年5月进行“攀登者”飞行器的飞行试验。下一阶段“攀登者”飞行器研制计划的具体要求是在2005年年底以前,在36 600 m的高空执行为期5天的军事任务。

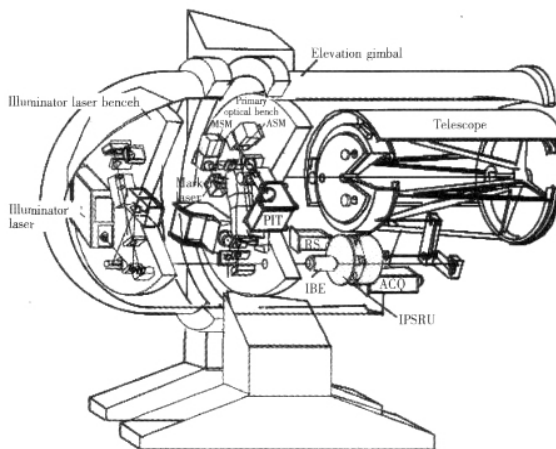
4.3 固定翼无人机

2006年初,美国空军科学顾问委员会(AF-SAB)内部发行了一份由资深技术顾问小组撰写、题为《在临近空间持续存在》的研究报告。这项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。报告的结论认为,与气球和飞艇相比,高空无人机是空军近期在未开发的临近空间进行持续过顶侦察情报搜集和通信中继的最佳选择。比如,RQ-4“全球鹰”无人机,在2010年年底以前可能是替代低地球轨道卫星完成上述任务的最有希望的方案。报告还建议,空军在近期要推进技术发展,如高效太阳能电池、再生燃料电池、轻型鲁棒材料和能在低温条件下有效运行的高空推进系统,以及高能源密度燃料等。

4.4 高空气球实验(HABE)^[5]

空基防御系统(如天基激光武器SBL)和太空监视系统追求的一个共同目标是极高的目标视线成像(LOS)分辨率。这些系统常配备大孔径望远镜和光束放大器。为达到任务目的,光束控制子系统必须具备精确的视线瞄准跟踪能力,而且对视线的抖动有抑制作用。为适应这种需求,美国国防部高级研究计划署(DARPA)和战略防御计划(SDI)

资助DRAPER实验室发展了惯性伪星基准单元(IPSRU),包括同美国空军研究实验室(AFRL)的合作。IPSRU装备了一个惯性稳定平台,将其作为准直光源(称之为探测光束)的基座,平台具有宽带的低噪声两自由度惯性稳定配置。已交货的IPSRU系统使用了KEARFOTT动态调谐两自由度陀螺(DTG)和英国国际电气公司(BEI)的角位移传感器(ADS),惯性探测光束抖动稳定的结果是相对于“星”参考而来的。在惯性空间内,用精确比例匹配平台陀螺,引导平台旋转探测光束瞄准,实现精确跟踪。交付AFRL的IPSRU系统已和他们的高空气球实验(HABE)融为一体。采用视轴稳定及快速控制反射镜技术,IPSRU系统的实验室测试表明:在0.4~300 Hz的频率下,基座运动干扰超过400微弧度时,探测光束抖动优于40毫微弧度,此性能得到了AFR的高空气球实验(HABE)的验证。



部分组件:IPSRU:惯性伪星基准,ACQ:捕获器,PIT:上级跟踪;AFT:精跟踪,R/s:测距仪/记录器,ASM:校正操纵;MSM:标记操纵

图3 高空气球ATP有效载荷

4.5 美国高空气球激光雷达演示验证试验 Balloon-Winds^[6]

命名为BalloonWinds的高空气球激光雷达演示验证试验项目以光探测和测距技术为基础,在30 km高空,每次工作8~10 h(今后可工作6~12个月),于2006年发射成功。

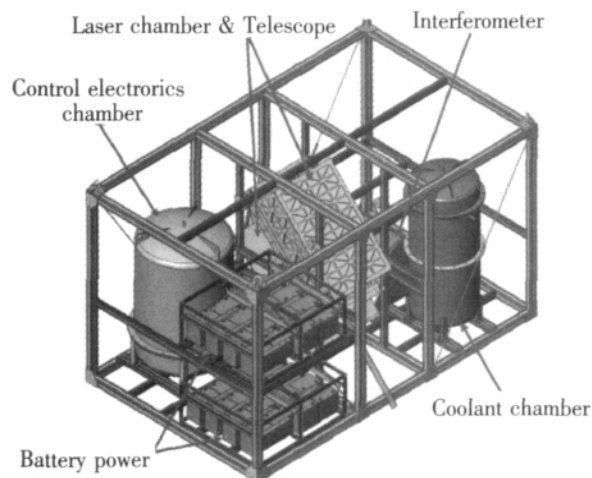


图4 Balloon winds 的整个载荷布局

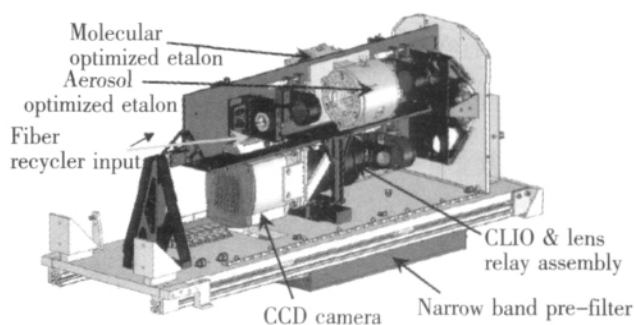
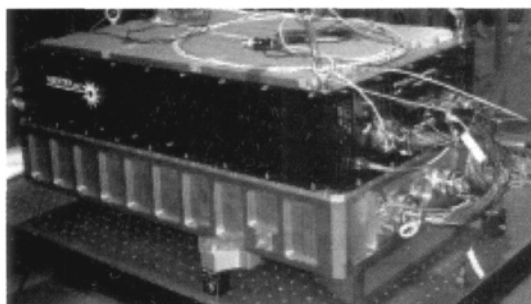
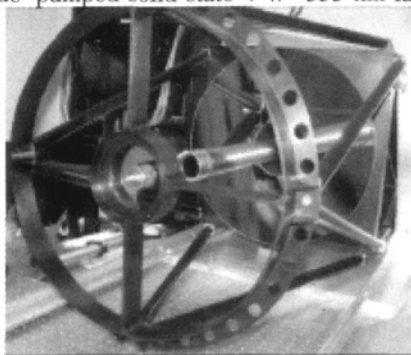


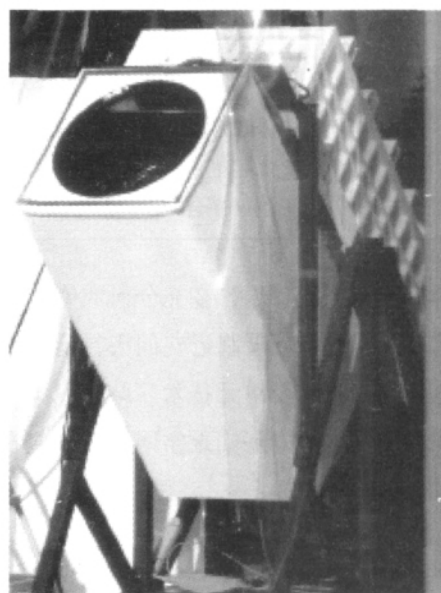
图5 Balloon winds 的干涉仪



(a) Diode-pumped solid state 4 W 355 nm laser



(b) Space class 50 cm telescope



(c) Integrated laser telescope subsystem

- Sealed laser chamber contains laser, all beam delivery optics laser electronics and thermal control
- Laser telescope alignment is maintained to within 10 microradians

图6 Balloon winds 的激光器和望远镜系统部件

5 国内情况

中国国家自然科学基金委员会数理科学部于2006年4月17~18日在北京组织召开了“临近空间飞行器的发展趋势和重大基础科学问题研讨会”。此次研讨会得到了中国人民解放军总装备部、国防科

学技术工业委员会、中国航天科技集团公司、中国航空工业第一集团公司、中国科学院和高等院校等相关部门和专家的高度重视和积极响应。也先后有航天工程咨询中心、北京控制工程研究所和长春光机所等单位就国内外发展近况、飞行控制和光电载荷方面进行着积极的研究探索^[7]。

表 2 临近空间飞行器计划及进展^[3]

国家/部门	项目名称	类型	主要用途	进展情况
美国导弹防御局、美国陆军	HAA 高空飞艇	平流层飞艇	导弹预警、装载激光武器系统、摧毁	2004 年 11 月进入演示验证阶段, 预期 2008 年进行用户评估
美国空军天战实验室	NSMV 攀登者	平流层飞艇	敌方导弹	2003 年 11 月飞行试验成功, 未携带载荷, 飞行高度 30 km
美国侦察办公室	AHAB 先进的高空航空体	高空长航时无人机	高空侦察	2003 年试验失败
美国宇航局	太阳神无人机	高空长航时无人机	环境调查及遥感	
美国约翰·霍普金斯大学	HARV 高空侦察机	平流层飞艇	高空侦察	
美国瑞温公司	高空哨兵	平流层飞艇	监视、通信	
以色列飞机工业公司	侦察飞艇	平流层飞艇	侦察	监视验证阶段, 2005 年 11 月进行试验, 高度为 22 km, 飞行时间 5 h
日本	平流层平台	平流层飞艇		完成试验
欧空局	HALE 高空长航时飞艇	平流层飞艇	通信	处于关键技术攻关与演示验证阶段
英国 ATG 公司	平流层卫星	平流层飞艇	通信、对地观测	开发中
韩国	平流层平台	平流层飞艇	通信	2007 年实现商品化 样机研制阶段

作者认为, 应该抓紧机遇, 在充分研究临近空间大气环境基础上, 大力开展临近空间飞行器光电有效载荷的总体集成技术及单元技术。结合我国现有技术基础和应用需求, 发展临近空间飞行器应在

开展基础研究的基础上, 优先攻克关键技术, 积极鼓励探索创新, 带动我国航天技术和航空技术的发展。(No.9)

参考文献:

- [1]Andrew J. Knoedler. Using Near Space Vehicles in the Pursuit of Persistent C3ISR [C].10th international command and control research and technology symposium- the future of C2, 2005
- [2]James H. Boschma. Unmanned airship development and remote sensing applications [J]. SPIE, 2001, 4571: 45- 49.
- [3]曹秀云. 美国临近空间飞行器技术发展概述 [J]. 现代军事, 2007, 3: 54- 58.
- [4]Timothy J. Schneeberger, Major Ken Barker. High- altitude balloon experiment: a testbed for acquisition tracking, and pointing technologies [J]. SPIE, 1993, 1950: 2- 15.
- [5]Jerold P. Gilmore, Michael F. Luniewicz, Darryl Sargent. Enhanced precision pointing jitter suppression system [J]. SPIE, 2002, 4632: 38- 49.
- [6]Michael T. Dehring, Peter Tchoryk, Jinxue Wang. High- altitude balloon- based wind LIDAR demonstration: from near space to space[J]. SPIE, 2006, 6220: 1- 9.
- [7] 李智斌, 李果, 李勇. 近空间浮空飞艇飞行控制研究现状及问题 [J]. 控制工程, 2006, 5: 11- 19.