

文章编号: 1672-8785(2014)04-0001-06

# 现代战争中的光电对抗技术分析

徐思宁 王世立\* 管卫亮 程威敏

(中国人民解放军 91336 部队, 河北 秦皇岛 066326)

**摘要:** 光电对抗是电子对抗的重要组成部分, 其在现代战争中的地位日益提高。首先从光电侦察与反侦察、光电干扰与抗干扰两个对立面对光电对抗系统进行了分析, 然后介绍了典型的光电装备及其在战争中的应用情况, 最后概括了光电对抗技术及装备的发展趋势。

**关键词:** 光电对抗; 光电装备; 侦察; 干扰

**中图分类号:** TN97    **文献标识码:** A    **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.04.001

## Analysis of Opto-electronic Countermeasure Technologies in Modern War

XU Si-ning, WANG Shi-li \*, GUAN Wei-liang, CHENG Wei-min

(91336 Army Unit, PLA, Qinhuangdao 066326, China)

**Abstract:** Opto-electronic countermeasure is an important part of electronic countermeasure. Its position in modern war is becoming higher and higher. First, the opto-electronic countermeasure system is analyzed in both the opposite of opto-electronic reconnaissance and anti-reconnaissance and the opposite of opto-electronic jamming and anti-jamming. Then, the typical opto-electronic equipment and their application in the war are presented. Finally, the development trend of opto-electronic technology and equipment is summarized.

**Key words:** opto-electronic countermeasure; opto-electronic equipment; reconnaissance; jamming

## 0 引言

光电对抗是指敌对双方利用各种技术手段在光波段进行侦察或干扰的行动, 其目的是使敌方光电装备降低或失去作战效能, 保证己方光电装备的正常发挥<sup>[1]</sup>。20世纪70年代, 与雷达技术相比, 光电技术由于具有不受电磁干扰、精度高以及被动工作等优点得到了人们的普遍认可, 从而发展成为一个新兴领域。20世纪80年代, 光电装备在战争中的威力已经有所

体现。在海湾战争中, 光电制导武器以5%的投放量占据了75%的战绩比例。在此背景下, 光电探测技术和光电对抗装备得到了蓬勃发展, 而且近20年来光电对抗技术也已成为各国军事技术发展的热点之一。

随着高科技手段的不断应用以及现代战争向局部化、立体化、系统化、信息化的衍变, 光电对抗已经在现代战争中发挥着至关重要的作用。本文对现代战争中的光电对抗技术进行了研究, 同时对光电对抗装备及其应用进行了分

收稿日期: 2014-03-16

作者简介: 徐思宁(1972-), 男, 江苏徐州人, 本科, 主要从事光电对抗仿真技术研究。

\* 通讯作者: 王世立(1988-), 男, 山东济宁人, 硕士, 助理工程师, 主要从事光电对抗仿真和图像处理技术研究。E-mail: wangshili00@126.com

析，并指出了光电对抗技术及装备的发展趋势。

## 1 光电对抗技术及装备

光电对抗技术包括光电侦察与反侦察、光电干扰与抗干扰两个对立面，覆盖可见光、红外和激光波段，因此也可分为可见光对抗、红外对抗和激光对抗三类<sup>[2]</sup>。图1为光波段的分布图。通过将功能分类和波段分类结合起来就可得到一个完整的光电对抗技术体系，如图2所示。

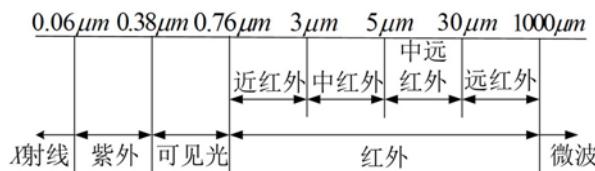


图1 光波段的分布图

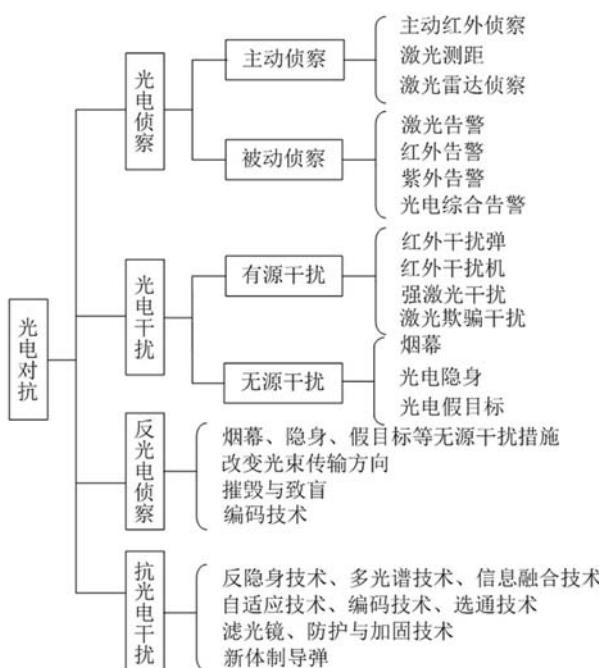


图2 光电对抗技术体系

### 1.1 光电侦察

光电侦察是光电对抗的第一步，即对由敌方光电装备辐射或散射的光谱信号进行搜索、截获、定位、分析和识别，以获取敌方装备的光电参数并迅速判别其威胁程度，从而及时提供情报和发出告警<sup>[3]</sup>。光电侦察主要包括光电侦察告警技术、激光测距技术和激光雷达技术。其中，光电侦察告警技术是指利用光电探测器在

光波段侦察、截获和识别敌方的光信号，进而判断其威胁性质和危险等级，确定来袭方向，最后发出警报并启动防御系统进行对抗。根据光波段的不同，光电侦察告警技术可以分为红外侦察告警技术、紫外侦察告警技术和激光侦察告警技术。

#### 1.1.1 红外侦察告警技术及装备

红外侦察告警技术是一种无源定位技术。其原理是，传感器利用目标与背景之间的温差形成点源或图像，然后处理器提取目标特征以识别和跟踪目标。红外侦察告警装备的作用距离近，但受海杂波影响小，能够探测超低空掠海飞行的目标，因此可以与侦察雷达形成互补。该装备主要用于搜索与跟踪、火力控制、制导、预警和监视等方面。

典型的红外告警装备有AN/SAR-8、AN/AAR-44和VAMPIR。由美国和加拿大联合研制的AN/SAR-8装备在水面舰艇上，用于探测超低空飞行目标，以弥补雷达警戒系统警戒范围的不足。其技术指标如下：工作波段为中波红外(3~5 μm)和长波红外(8~14 μm)波段；视场的方位角为360°，俯仰角为20°；虚警率为1/40 min；探测距离≥10 km。由美国辛辛纳提公司研制的AN/AAR-44采用凝视传感器，实现了告警与对抗指令一体化。它能够连续对多个目标进行边搜索边跟踪，并采用多种鉴别模式处理阳光辐射以及地面与水面的辐射和反射，虚警率低。该装备能够有效对抗SA-7和SA-9导弹，现已装备在水面舰艇、直升机和运输机等平台上。法国VAMPIR系列的最新产品——VAMPIR MB红外搜索与跟踪系统采用模块化设计，能够对掠海导弹、巡逻艇、飞机以及水雷进行探测和定位，并能向对抗系统发出目标指示。

#### 1.1.2 紫外侦察告警技术及装备

紫外侦察告警技术主要针对的是导弹目标，它是利用导弹尾焰的紫外(220~280 nm)辐射特性实现目标探测的。太阳光的紫外辐射是最强的，但在穿过大气层时绝大部分紫外辐射会被臭氧层吸收，因此紫外波段被称为“太阳光谱盲区”。利用此波段进行探测可以避免出现由太阳造成的复杂背景，提高目标被发现的

概率, 减轻系统信号的处理负担。紫外侦察告警系统具有体积小、质量轻、隐蔽性好和虚警率低等优点。与红外侦察告警系统相比, 该系统无需扫描和制冷, 更易于装备使用。美国是紫外告警系统研究领域的巨头, 其研制工作起步早且技术成熟。典型的紫外告警系统包括 MAW-200、AN/AAR-47 和 AN/AAR-54 (V)。MAW-200 是一种无源导弹发射探测和逼近告警系统, 与箔条和红外干扰弹投放装置互联。在有导弹逼近时, MAW-200 会自动对威胁实施干扰。AN/AAR-47 紫外告警系统能够探测来袭导弹, 并能为飞行员提供威胁目标的方位和距离。AN/AAR-54 (V) 是一种无源导弹逼近告警系统, 可在各种高度下全天候运行, 其角分辨率为  $1^{\circ}$ , 探测距离是现有系统的 2 倍。该装备能够为定向红外对抗系统提供跟踪信息和目标指示。

### 1.1.3 激光侦察告警技术及装备

激光告警技术利用激光探测器探测由敌方装备发出的激光信号并发出报警信号, 其主要探测激光的照射方向。根据工作原理的不同, 激光侦察告警装备大体可以分为光谱识别型、相干识别型和散射探测型三类。目前, 激光告警装备具有单波段、双波段和全波段激光告警能力, 能够区分激光测距和激光目标指示信号。其测量精度在  $1^{\circ}$  之内, 主要装备在水面舰艇、直升机和陆基平台上。

典型的激光告警装备有英国的 1220 系列和 480 型产品、美国的 AN/AVR-2 相干型告警器、俄罗斯的 Spektr-F 激光告警系统以及德国的 COLDs 通用激光探测系统。1220 系列和 480 型激光告警系统的工作波段可覆盖  $0.35 \sim 11.5 \mu\text{m}$  范围。其中, 1220 系列产品可以与舰载电子干扰系统配合使用; 480 型产品则可对多个激光威胁源进行告警。AN/AVR-2 告警器采用 HALWR 高精度激光接收机, 其测量精度达到  $0.06^{\circ}$ , 能够满足用火炮和激光武器打击威胁目标的精度要求。Spektr-F 激光告警系统具有抗背景干扰的特点, 其对单脉冲的截获概率为 95%, 探测距离为  $20 \sim 25 \text{ km}$ , 并可同时对 4 个威胁源进行告警。

### 1.1.4 激光雷达

激光雷达是一种用激光对目标进行探测、定位和观察的设备。它是激光技术与雷达技术相结合的产物, 具有发现目标, 测定目标的距离、速度、方位和俯仰角以及识别目标的形状和性质等功能。与其他光学探测设备相比, 激光雷达具有探测距离远、受天气影响小以及可同时测距和测速等优点; 与微波雷达比, 激光雷达具有探测分辨率高、定位精度高以及测量精度高等优点<sup>[7]</sup>。

目前, 采用新体制的激光雷达包括非扫描成像激光雷达、多光谱成像激光雷达、激光合成孔径雷达和激光相控阵雷达。美国 Sandia 实验室已经研制出一种新的非扫描距离成像激光雷达。该雷达用高频强度调制的激光器照射目标, 然后用具有图像增强功能的 CCD 摄像机接收回波, 最后通过信号处理依次提取每个光点的距离信息, 形成目标的强度 / 距离三维图像。图 3 为这种激光雷达的系统框图。

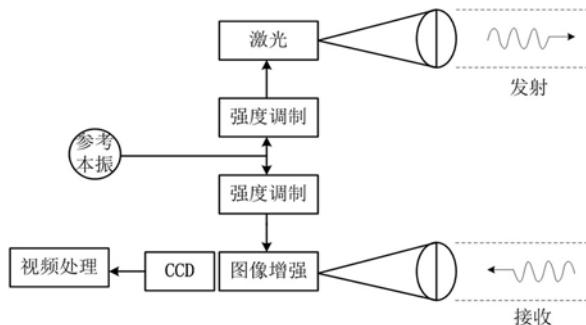


图 3 非扫描成像激光雷达系统

## 1.2 反侦察

反侦察就是针对敌方光电系统的弱势或缺陷采取积极或消极措施, 使其无法发现己方目标。反侦察主要包括隐身、遮蔽和欺骗三种方式。广义的隐身技术包含了伪装与假目标手段。在实战中, 人们往往需要联合运用多种反侦察技术以达到最佳效果。例如, 当舰船对抗来袭导弹时, 通过预先发射烟幕弹达到遮蔽效果, 然后发射诱饵弹形成假目标, 从而躲避导弹的袭击。但是在抑制对方的同时, 这种做法也遮挡了己方的视线。

作为一种低可探测技术，隐身技术通过改变和抑制目标辐射特征、减少目标与背景的辐射反差，使得目标被发现的概率大为降低，或者被探测到的距离大为缩短。其主要研究方向包括红外隐身技术和激光隐身技术。红外隐身的基本方法如下：(1) 抑制目标的红外辐射强度；(2) 改变目标的红外辐射特征；(3) 调节目标红外辐射的传输途径。激光隐身就是尽量使目标的激光回波信号减弱，主要针对激光测距仪、激光目标指示器、激光跟踪器和激光雷达等装备。激光隐身的主要方法如下：(1) 设置目标外形；(2) 减小表面的反射率；(3) 表面粗糙化；(4) 定向反射。

### 1.3 光电干扰

光电干扰是一种攻击性手段，是指有效运用光波波谱破坏和削弱敌方光电武器与装备所采取的一切措施。光电干扰手段是否有效，必须符合光电频谱匹配性、干扰视场相关性、干扰实际实时性和最佳距离有效性这四个基本特征<sup>[5]</sup>。光电干扰可以分为无源干扰和有源干扰两种。实战中，两者分别作为近程干扰和远程干扰配合使用。采取哪种干扰方式取决于来袭目标的特点。若来袭目标是红外制导导弹，首先用激光压制和红外干扰机对其进行远程干扰，然后发射红外干扰弹和诱饵弹等形成假目标，最终使其丢失目标。

#### 1.3.1 无源干扰

无源干扰也称被动干扰，它通过用特定材料或器材改变敌方武器的电磁波介质传播特性，达到改变己方目标光学特性的目的，从而降低敌方光电武器的效能。无源干扰主要有烟幕、光电隐身和光电假目标三种方式<sup>[6]</sup>：

(1) 烟幕干扰是一种重要的无源干扰手段。尤其是在对付成像制导导弹时，其主要作用是对目标产生遮蔽效应。这种效应首先是通过烟幕对光辐射的吸收和散射引起能量损耗来实现的，这个过程称为被动式遮蔽反应。另外，还可以通过烟幕自身的强烈辐射把目标及其附近背景的辐射覆盖起来，使得成像制导武器探测不

到目标的真实图像，从而达到遮蔽的目的。这种方法称为主动式遮蔽效应。

(2) 光电隐身包括红外隐身、可见光隐身和激光隐身等，其具体措施有伪装、涂料和热抑制等。目前，我国已经成功研制出可见光/激光/红外复合隐身涂料。

(3) 光电假目标是指在真目标附近放置一定数量的形体相近的假目标或热辐射相近的辐射体，降低敌方的发现概率，增加其误判率，进而提高真实目标的生存概率。

#### 1.3.2 有源干扰

有源干扰是指利用己方设备发射或转发与敌方设备波段相应的光波，并对其进行压制或欺骗干扰。红外干扰弹、红外干扰机、强激光干扰和激光欺骗干扰均是有效的有源干扰方式，其主要装备包括点源和面源红外干扰弹、红外干扰机、激光干扰机和激光压制设备等。

红外干扰弹主要用于干扰红外制导武器，使其在锁定目标前锁定红外诱饵，因此属于欺骗式干扰。随着红外探测器的不断发展，红外制导武器目前均采用成像制导方式。但点源诱饵弹难以起到理想的干扰效果，面源红外干扰弹则应运而生，它可以形成超过舰船面积的假目标，因此具有更佳的干扰效果。

红外干扰机能够发出经过调制和编码的红外脉冲，使来袭导弹产生虚假的跟踪信号而失控脱靶。红外干扰机由离合开关、电源、红外光源、调制器和发射光学系统组成，如图 4 所示。其中最重要的是红外光源和调制器。典型的新型红外干扰机有“斗牛士”和“MIRTS”机载红外干扰机。前者采用脉冲调制灯（内调制）和复合干扰码，其辐射功率为 6 kW。后者采用一盏多头的蓝宝石灯，并具有模块化结构；其波段覆

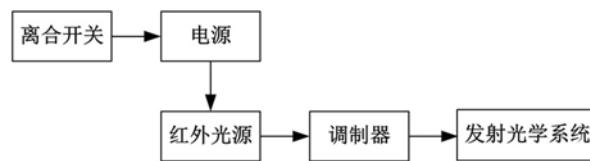


图 4 红外干扰机的结构图

盖  $3 \sim 5 \mu\text{m}$  和  $8 \sim 14 \mu\text{m}$ ，可以实现全方位干扰。

激光干扰包括角度欺骗方式、距离欺骗方式和压制方式<sup>[8]</sup>。激光角度欺骗干扰机主要用于干扰激光跟踪设备和半主动激光制导武器。它先复制侦察到的与敌方波长及码型相同的激光干扰信号，然后利用某种载体将其投射到假目标上。这种干扰方式可以用来保护地面和海上的重要军事目标或军事设施。激光距离欺骗干扰机用于干扰以获取目标距离信息为目的的军用激光设备，如激光测距机和激光雷达等。激光压制是指采用高功率激光器对敌方或其光电装备进行压制和干扰，损伤其光学元件或探测器，使其丧失作战效能的手段。德国 MBB 公司研制的高能激光武器系统所产生的激光束的直径为 10 cm，脉冲功率为 1 MW。该系统在 20 km 处照射 0.1 s，就可使光电探测器致盲；在 10 km 处照射则可烧穿机身。美国 TRW 公司研制的激光防空武器系统由功率为  $5 \times 10^2 \text{ kW}$  的高能化学激光器和直径为 70 cm 的定向器 / 跟踪器组成，其响应时间约为 1 s，每分钟可发射 20 ~ 50 次。它发射的激光束能够摧毁 15 km 以外的飞行目标，杀伤概率达到 100%。

#### 1.4 抗光电干扰

抗光电干扰是指在光电对抗环境中为保证己方装备的作战效能而采取的措施，大致可以分为硬件和软件两个方面。在硬件方面，通过采取抗干扰电路、光电防护材料及器材等措施，可以衰减或滤除敌方干扰信号，从而使己方装备免受干扰。在软件（主要指算法）方面，在硬件正常工作的前提下，可利用干扰和目标信号的特征，通过改进算法来分辨真假目标，例如采用多光谱技术和信息融合技术。抗光电干扰技术主要包括两类：一类是对抗有源干扰中的致眩致盲和高能武器摧毁；另一类是对抗无源干扰和有源干扰中的低功率干扰。

## 2 光电对抗技术及装备的发展趋势

### 2.1 多光谱对抗技术

随着光电技术和光电信息处理技术的不断发展，多光谱技术已经在光电装备中得到了广泛应用。多光谱对抗使侦察告警、有源和无源干扰、反侦察和抗干扰设备从单一波长或频段扩展到了全光波段，同时其装备性能也得到了大幅提升<sup>[9]</sup>。烟幕弹最初只能在可见光和近红外波段产生干扰效果，而现今已扩展到中远红外和毫米波波段，今后还将会延伸到微米波波段<sup>[10]</sup>。由美、英等多方联合研制的 AN/AAQ-24 (V) 定向红外对抗系统具有激光干扰功能，其导弹逼近告警采用紫外波段，红外干扰波段为 1 ~ 5  $\mu\text{m}$ 。该装备属于典型的多光谱对抗系统。此外，可调谐激光器的应用也促进了多光谱对抗技术的发展。

### 2.2 光电对抗一体化、自动化、通用化

光电对抗一体化是指将探测侦察、信息处理、对抗干扰和指挥控制融为一体，即采用智能技术和专家系统，使其成为一个有机整体<sup>[11]</sup>。光电对抗自动化是战争的需要，因为光电对抗系统必须能够自动截获敌方光波信号并对其进行分析测量和分选识别，然后自动判定威胁等级，最后自动实施最佳干扰并实时进行干扰效果评估，以便自动修改参数。自动化是光电对抗系统的重要发展方向。光电对抗通用化是指对敌方目标采取通用化对抗措施，即无论敌方目标具有何种特征（种类、形状、平台、速度和波段等），光电对抗系统都能对其进行侦察和干扰。

### 2.3 空间光电对抗

前苏联和美国的战略情报有 70% 以上是通过卫星侦察获取的。为了争夺制天权，世界各国已经开始发展空间光电对抗技术<sup>[12]</sup>。该技术以光电侦察卫星为作战平台或对象，主要包括星载光电信息获取、对抗和防护等三方面内容。未来战争中的主要内容如下：干扰和破坏敌方卫星，抑制其光电侦察功能的发挥；保护我方卫星，使其有效发挥光电侦察能力<sup>[13]</sup>。

### 2.4 光电对抗仿真技术

为了缩短光电装备的研发周期和降低设计成本, 光电对抗仿真技术已经受到了人们的重视并得到了快速发展。该技术主要是在内场(如实验室)模拟各种外界气象条件、不同目标的特性、环境背景特性以及光电传感器的参数性能, 通过仿真研究其对抗的最佳效果, 并对对抗效果作出定量评价。通过建立环境模型、气象模型和目标模型进行数字仿真是一个重要研究方向。目前, 光电仿真技术正在由单一武器系统的单项仿真向整个作战过程的协同连续仿真发展。

### 3 结束语

光电对抗是电子战的重要组成部分。随着光电探测与光电制导技术的不断发展, 光电对抗技术的地位日益提高。20世纪80年代中期, 美国的光电对抗研究经费超过了射频对抗研究。在海湾战争、科索沃战争和阿富汗战争中, 美国大量使用了各种光电装备, 并取得了辉煌战绩。事实证明, 谁先夺取光电权, 谁就有机会优先夺取制空权、制海权和制夜权。一个国家的光电对抗实力对其现代国防力量具有重大影响, 而且更具有决定性、全局性和时间性。

### 参考文献

- [1] Titterton D H. A Review of the Development of Optical Countermeasures [C]. SPIE, 2004, **5615**: 1–15.
- [2] 侯印鸣. 综合电子战 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [3] 王洋, 张景旭, 郭劲. 光电对抗技术 [J]. 红外与激光工程, 2006, **35**(Z): 164–168.
- [4] 李世祥. 光电对抗技术 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2000.
- [5] 樊祥, 刘勇波, 马东辉. 光电对抗技术的现状及发展趋势 [J]. 电子对抗技术, 2003, **18**(6): 10–15.
- [6] 刘松涛, 高东华. 光电对抗技术及其发展 [J]. 光电技术应用, 2012, **27**(3): 1–9.
- [7] 王茜摔, 王杨, 王海伟, 等. 激光雷达在舰载光电搜索跟踪系统中的应用 [J]. 光学技术, 2008, **12**(34): 151–153.
- [8] 刘致敬. 光电干扰技术及干扰效果评估研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2012.
- [9] 李云霞, 蒙文, 马丽华, 等. 光电对抗原理与应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.
- [10] 陈健, 于洪君. 光电对抗与军用光电技术研究进展 [J]. 光机电信息, 2010, **27**(11): 12–17.
- [11] 邹振宁, 冷锋, 周芸. 光电对抗技术和装备现状评析 [J]. 电光与控制, 2004, **11**(3): 30–34.
- [12] 樊祥, 张国良, 马东辉, 等. 光电攻击在反卫星侦察预警方面的应用 [J]. 航天电子对抗, 2000, **21**(4): 33–37.
- [13] 白宏, 荣健, 丁学科. 空间及卫星光电对抗技术 [J]. 红外与激光工程, 2006, **35**(Z): 173–177.

### 新闻动态 News

#### 美国 DMSP-19 国防气象卫星成功发射升空

据 [www.lockheedmartin.com](http://www.lockheedmartin.com) 网站报道, 美国洛克希德·马丁公司研制的 DMSP-19 国防气象卫星于 2014 年 4 月 3 日从美国范登堡空军基地发射升空。

DMSP-19 卫星是美国发射的第四颗 Block 5D-3 系列卫星。50 多年来, 洛克希德·马丁公司已经为 DMSP 计划制造了 40 多颗卫星, 其服役期也大多超出了设计寿命。

DMSP-19 卫星上装载了业务行扫描系统(OLS)、专用微波成像仪 / 探测器(SSMIS)以及专用紫外临边成像仪(SSULI)等先进有效载

荷。它们用于获取可见光与红外云量数据, 测量降水量、地表温度和土壤水分, 以及在各种天气条件下采集专业的全球气象、海洋和太阳-地球物理信息。DMSP-19 卫星将与极地轨道上的其他 6 颗卫星一起为用户提供气象信息。

美国准备将其空间天气业务能力扩展到 DMSP 计划以外的新天地, 洛克希德·马丁公司则继续为这项任务提供现代化服务。他们正在为美国航空航天局(NASA)和美国国家海洋和大气管理局(NOAA)研制 GOES-R 地球同步业务环境卫星, 该卫星计划于 2016 年发射升空。

另外, DMSP 计划的最后一颗卫星——DMSP-20 卫星也已经完成研制工作, 预计于 2016 年发射升空。

□ 岳桢干