

# 热成像共用系统技术

张志福, 张红宇, 叶超

(昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

**摘要:** 简要评述热成像共用的系统技术, 涵盖战场环境技术、平台稳定技术、共孔径技术、数据链技术、军用自动视频跟踪器、嵌入式训练系统、隐身和反隐身; 它们在热成像工程中日益广泛应用, 涉及多学科高技术, 将形成可观产业。

**关键词:** 热成像; 共用系统技术

中图分类号: TN216

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2013)12-0808-05

## Thermal Imaging Common System Technology

ZHANG Zhi-fu, ZHANG Hong-yu, YE Chao

(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

**Abstract:** A brief review of thermal imaging common system technologies, including battlefield environment technology, platform stabilization, common aperture, data link, military automatic video tracker, embedded training system, stealth and anti-stealth. They are increasingly widely used in thermal imaging engineering, involving multidisciplinary high technology, and will form considerable industry.

**Key words:** thermal imaging, common system technology

### 0 引言

在现代高性能热成像工程设计和应用中, 均采用了某些共用系统技术, 诸如战场环境技术、平台稳定、共孔径、数据链技术、军用自动视频跟踪器、嵌入式训练系统及隐身和反隐身技术; 它们涉及多学科高技术, 将形成可观产业。

### 1 战场环境技术

战场环境的认知和营造, 对战争的进程和结果至关重要。武器平台的数字化是认知和营造战场环境的基础。M1A2SEP 数字化坦克可凭借配装的各种传感器和诸如网络地图、侦察卫星等资源获取战场、目标信息互通和上传; 车际信息系统能在整个装甲部队内实时传送己方敌方坦克的位置和行动数据, 在车长的显示器上, 能看到敌友各方的配置和行动。旅团、军师直至战区战斗指挥系统, 便可获取全局更高一级战斗情报。一旦展开大规模的地面战争, 只要有一辆坦克发现目标, 整个部队均会在同一时间内捕获到信息, 完全实现资源共享, 这就如同“狼群战术”, 而且包括卫星系统、空中力量、指挥中心甚至后勤补给也可在第一时间获得最准

确的战况信息。因此, 敌人面对的将不是一群坦克, 而是全方位、立体式的饱和性打击。

当瞬息万变的战场环境出现对己方不利情况时, 数字化武器平台可快速反应, 弱化乃至反转局部态势。激光告警并发射干扰, 便是一种有效手段。激光告警是一种光电激光探测系统, 典型的有美军通用光电激光探测系统 COLDS, 见图 1<sup>[1]</sup>, 波段 0.54~1.7  $\mu\text{m}$ 、2~6  $\mu\text{m}$  或 5~12  $\mu\text{m}$  可选, 角覆盖方位 360°连续、俯仰 $\pm 45^\circ$ , 角分辨率 1.6°或 3°(方位、俯仰可选) 动态范围 77 dB (信号电压)。

Shtora-1 AFV EADS 防御系统 (DAS) 是激光告警与红外干扰一体系统, 图 2<sup>[1]</sup>是安装在 BMP-3 战车上的 Shtora 系列 EADS 防御系统。

激光告警系统探测到威胁激光系统, 自动将炮塔定向到目标, 触发干扰弹发射器, 喷射覆盖 0.4~14  $\mu\text{m}$  离舱气溶胶幕, 引偏红外导弹, 图 3<sup>[1]</sup>是安装在 T-80U 系列主战坦克的激光告警系统。其性能如下:

搜索视场: 方位 360°; 连续、俯仰 $-5^\circ \sim 25^\circ$ ;

探测发现精度: 1.7°~1.9°;

气溶胶幕: 干扰弹发射器 12 个, 告警时间 $< 3\text{s}$ , 有效持续时间约 20 s, 波段范围 0.4~14  $\mu\text{m}$ ;

收稿日期: 2012-11-20; 修订日期: 2013-11-05.

作者简介: 张志福, (1937-), 男, 天津人, 研高, 研究方向为热成像系统工程。

EO 干扰器: 波段范围  $0.7\sim 2.5\ \mu\text{m}$ , 辐射扇区  $2^\circ\pm 0.5^\circ$ , 辐射发散角俯仰  $4^\circ$ , 方位  $20^\circ$  (单模) 和  $40^\circ$  (双模);

尺寸:  $280\text{ mm}\times 350\text{ mm}\times 350\text{ mm}$ ;

重量不超过 30 kg。

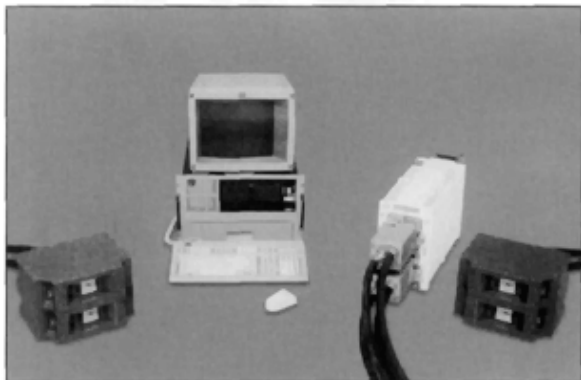


图1 COLDS 激光探测系统的组成 (EADS)  
Fig.1 The components of the COLDS laser detection system——Bands I and II (EADS)



图2 安装在 BMP-3 战车上的 Shtora 系列 EADS 防御系统  
Fig.2 A Shtora sensor element mounted on a BMP-3 IFV (seen at IDEX 2006)

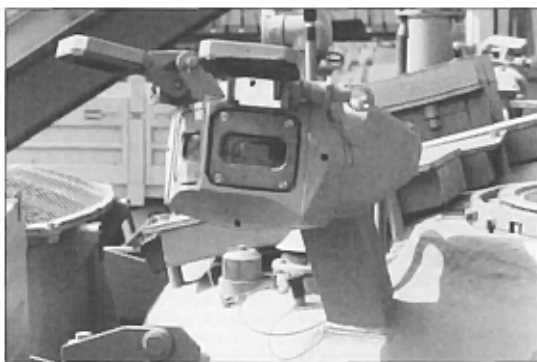


图3 T-80U 系列主战坦克激光告警系统  
Fig.3 Close-up of laser warning system on T-80U series MBT with protective covers open (Christopher F Foss)

## 2 平台稳定技术

远程高精度是精确打击的关键要求。最近几年美国战斗机对地攻击战术的最大变化在于战机实施对地攻击的高度越来越高,使战斗机能够远离防空炮火和地对空导弹的有效作战高度。目前加入美军服役的先进瞄准吊舱采用了新型远程、高清晰度前视红外和更高能量的激光照射器,使机组人员能够在 15200 m 或者更高的高度确认地面目标,并使用激光制导或者卫星全球定位炸弹对目标实施精确轰炸。这就对平台稳定精度提出新要求,狙击手增程型瞄准吊舱稳定精度<sup>[2]</sup>优于  $20\ \mu\text{rad}$ , 实达  $10\sim 11\ \mu\text{rad}$ , 真高清 MX-15 (AN/AAQ-35) 传感器转塔 LOS 抖动  $<10\ \mu\text{rad}$ ; 两者代表当今最高水平。

狙击手增程型瞄准吊舱的一个特色是它的光学基座设计,光学基座下有 6 个振动隔离装置,这就可以使安装在基座上的传感器不受飞行振动的影响。设计的中心概念是系统的超稳定状态。狙击手增程型瞄准吊舱的目标辨认能力是第一代蓝盾瞄准吊舱的 3.5 倍,吊舱在超过 15200 m 高度之上仍然能够精确地辨认目标。真高清 MX-15 (AN/AAQ-35) 传感器转塔采用 2 内轴倾偏、2 外轴俯仰、方位 6 轴隔离万向架, LOS 抖动  $<10\ \mu\text{rad}$ 。

## 3 共孔径技术

狙击手增程型瞄准吊舱前视红视传感器、电视摄像机和激光传感器共用孔径,可缩减系统尺寸、扩大光学孔径、便于实现自动校靶。吊舱直径 300 mm,  $-155^\circ\sim 35^\circ$  俯仰视场,装在 6 轴减震万向架内的三光系统孔径竟然高达 127 mm,这就是共孔径技术的贡献,见图 4<sup>[3]</sup>。



图4 狙击手增程型瞄准吊舱三光共孔径前视红外传感器  
Fig.4 Sniper XR (Extended Range) targeting pod three optical common aperture FLIR sensor

## 4 数据链技术

增程狙击手吊舱采用了一种高性能数据链技术,将在未来的网络中心战领域扮演关键角色。2004年9月洛马公司宣布已经为吊舱研制出一种外场可更换组件,允许作战飞机利用瞄准吊舱的下行数据链技术向地面部队传送实时视频信息和数据,有助于提高地面部队的态势感知能力,极大地改善了机组人员与地面部队之间的实时协调能力。

## 5 军用自动视频跟踪器

Octec ADEPT 33 自动视频跟踪器<sup>[1]</sup>有多种跟踪和操作模式,跟踪算法包括形心、相关、边缘、多目标、相位相关、组合和场景锁定跟踪模式(后者为 Octec Ltd.的专利算法,用于复杂场景跟踪),为当今最先进系统。

主要特点如下:

软件基于现成商品;

VME 形状因子;

内置 RS-232/RS-422 接口;

多种模拟视频输入和输出;

使用统计目标环境处理器(STEP)的高杂波抑制;

包括多目标探测和多目标跟踪的多算法能力;

跟踪窗、瞄准标记和状态字符叠加;

智能中断锁定和再捕获算法;

可编程双轴平台滤波器;

易安装和开发菜单驱动软件。

结构:单高 VME(Eurocad 标准机械形状因子)板;

视频输入:2路兼容视频 625、525 线 CCIR 或 RS-170;

跟踪模式:形心和场景锁定;

视频输出:2路;

可用接口:RS-232/RS-422,模拟和独特;

自动视频探测:2%~5%视场可用;

尺寸:100 mm×160 mm Euro(3U)规格;

环境:军标。

## 6 嵌入式训练系统

针对 M1A2SEP 的升级,每支装甲部队配备了能提供仿真战场图像的先进炮长模拟器(AGTS),

进而提高坦克乘员对这一系统的操作熟练程度。

## 7 隐身和反隐身

北约组织早在上世纪 80 年代便大力从事红外隐身技术发展<sup>[4]</sup>,1991 年北约军事标准化局公布所谓未来主战坦克红外/热特性反侦察要求的公共标准《STANAG 4319》协议,该协议旨在使限制未来主战坦克被动反侦察、伪装和隐蔽等项红外/热特性技术规范并给出达到这些规范要求的设计指南,其适用范围是为 2000 年前后作战使用而发展和改进的主战坦克;作为基本要求,该项主战坦克技术不得危及整个车辆系统或牺牲系统性能,包括声频、视频特性。协议得到加、法、德、希、荷、英陆军和美三军认可,要求最迟在 1992 年底先后实施。

按协议规定,反侦察红外/热波段及威胁性波段划分为 A 波段 1.9~2.7  $\mu\text{m}$ 、B 波段 3~5  $\mu\text{m}$  及 C 波段 8~14  $\mu\text{m}$ 。A 波段发射取决太阳反射贡献,其被发现最小视在温差 150 K, B 波段发射源于太阳辐射的反射和部分热区发射,其被发现最小视在温差 3 K(依背景干扰确定的典型值), C 波段为热表面及太阳加热形成的发射,太阳反射影响极微,其被发现最小视在温差 1 K(依背景干扰确定的典型值),3 个被发现的实际温差阈值分别为 200 K、3 K 和 1.5 K。《STANAG 4319》预计,主战坦克和特种车辆避免发现的区域加权最大表面视在温差,引擎排气口 10 K、引擎冷却排气管或散热窗 5 K(以上相对 22℃环境气温)、引擎舱装甲 3.5 K、整车侧面 1.5 K,整车(包括引擎排气口)3.5 K(以上相对背景);《STANAG 4319》规定,2000 年前后主战坦克实际可达到的区域加权最大视在表面温差分别应为 15 K、10 K、5 K、5 K 和 7 K,已如期达标。

《STANAG 4319》提出的未来主战坦克红外/热特性抑制设计指南描述的热特性如下:

1) 引擎排气和冷却空气出口不得使气流指向可见表面或地面,只能指向后方而不能直指地面以防扬尘,从车辆前方沿纵轴观察应不可见。

2) 引擎设计应使排气中粒子杂质含量最低,以减小其热辐射。

3) 垂直面及与垂直面成小角度平面的发射率应足够低,以使车辆热点视在温度降到最低。

4) 内部热耗散较低并朝向天空水平面的应具

有较高发射率,以防止天空辐射(通常冷背景)反射给威胁性传感器。

5) 使用下述办法降低热点视在温度,包括:

- ①红外表面涂层或反射技术;
- ②热抑制;
- ③空气传输;
- ④平衡结构。

6) 避免车辆自身产生高热对比度,例如冷空气入口不应接近热排气口,避免热容失配区等。

7) 避免大面积均匀视在温差分布,应利用热导和热发射率差异形成破碎视在温度表面。

8) 应将导向和悬挂部件的热特性降到最低程度并避免可能从前方和侧面暴露,可使用导向侧缘提供热屏蔽(同时提供装甲防护)。

9) 使车辆行驶留下的地面热迹降到最低程度。

10) 必要时设计伪装器材,包括网和帘。它应可降低 $3\sim 5\mu\text{m}$ 与 $8\sim 14\mu\text{m}$ 波段工作的热成像系统和热寻的系统发现、识别和认清能力。

## 7.1 自适应伪装系统

现今红外传感器具有很高清晰度和很强的图像处理能力,热像系统的成像质量、分辨力和探测概率不断提升;为提高装甲车辆生存力,许多公司开展可使车辆融合到周围环境的自适应伪装系统。英国BAE公司在2011年英国防务展上展示了CV90装甲车侧面的试验系统,达到红外隐身<sup>[5]</sup>。

自适应伪装系统有许多装在嵌板上的六边形像素板,各自温度可控,可工作在红外和其他波段;使用时,系统可从预置的任务数据库中选出诸如沙漠、城区或其他地形特征,也可使用“抓拍和复制”程序,获取其他背景热特征,或使自身车辆复制成石头、树木或其他类型车辆。系统还可嵌入红外识别条码,以防误伤。

## 7.2 反隐身对策

1) 提高热传感器性能是先决和首要项目

任务准则选为分辨,对4km北约标准坦克正面相当系统探测器张角 $\text{DAS} = 0.19\text{ mrad}$ ( $5.22\text{ c/mrad}$ );对热带大气条件、能见度5km农村衰减、

4km水平路径,27℃气温, $8\sim 14\mu\text{m}$ 波段大气透射 $\tau_a=0.24$ ,最小可分辨温差应不大于隐身协议要求的北约标准坦克2K温差在传感器入射孔径处的视在温差0.48K;经CFLIR40模型预计,选用“系统1” $432\times 4$ 焦平面及231mm系统焦距(F3)可兼顾3°垂直视场和4km识别要求,见表1“CFLIR40模型预计视距”0.5概率识别距离。

采用“系统2” $576\times 4$ 焦平面及308mm系统焦距(F3),可实现3°垂直视场和4km认清,见表1“CFLIR40模型预计视距”0.5概率认清距离。

由于传感器分辨力提高,要求稳定器性能相应改进,降低平台的随机振动和漂移极限。

2) 多波段多传感融合是必不可少的手段

由于不同波段的隐身技术相互制约,强弱必有均衡取舍,这为多波段多传感留出攻击空隙。

## 8 结束语

本文给出的诸多共用系统技术,在打造当代顶尖军用热成像系统中,要与焦平面和光机主体同步发展,是不可或缺的;为推动我国军用热成像技术登上顶峰,尤须着力赶超,具有相关技术基础和资源的部门、机构应能大有作为。

## 参考文献:

- [1] Michael J Gething. *Jane's Electro-Optics Systems*[M]. London: Jane's Information Group, Incorporated, 2009-2010.
- [2] Michael J Gething. *Jane's Electro-Optics Systems*[M]. London: Jane's Information Group, Incorporated, 2006-2007.
- [3] 网易军事. 详解飞机的侦察吊舱和技术[EB/OL].[2009-03 -25]. [http://news.163.com/09/0325/19/5599H6K5000136CL\\_5.html](http://news.163.com/09/0325/19/5599H6K5000136CL_5.html).
- [4] 张志福. 未来主战坦克红外/热特性的反监察技术对热成像制导反坦克弹的挑战[R]. 中国兵器科学研究院制导兵器技术预研专业组“制导兵器需求背景与指导方式研讨会”报告, 1994.
- [5] 《世界兵器发展年度报告》编辑部. 世界兵器发展年度报告(2011)[M]. 北京: 中国兵器工业集团第二一零研究所.

表 1 CFLIR40 模型预计视距\*      Table 1 CFLIR40 model prediction range of visibility

系统名称	参数		面元目标视距/m									
			分辨率	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	X 方向视距		
系统 1	系统焦距/mm	231.00	发现距离	13872.01	12939.90	12179.92	11732.54	11292.46	10776.26			
	光瞳口径/mm	77.00	定向距离	11933.85	11002.75	10251.35	9814.58	9389.47	8896.75			
	视场	4.00°×3.00°	识别距离	5417.89	<b>5206.75</b>	5011.43	4818.10	4605.66	4347.72			
		7.50~10.50	认清距离	3420.86	3254.22	3103.05	2956.15	2797.79	2609.69			
	目标温度/K	18.00	分辨率	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	Y 方向视距		
	背景温度/K	16.00	发现距离	13016.72	12101.88	11360.02	10932.87	10515.06	10026.46			
	目标尺寸/m <sup>2</sup>	2.30×2.30	定向距离	11239.76	10321.17	9585.05	9168.11	8764.87	8298.65			
	FPA	432×4	识别距离	4837.40	<b>4648.87</b>	4474.49	4301.88	4112.19	3881.89			
	系统焦比	F3	认清距离	3054.34	2905.54	2770.57	2639.42	2498.02	2330.08			
	探测器面元尺寸/μm	25×28	分辨率	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	X 方向视距		
系统 2	系统焦距/mm	308.00	发现距离	15430.64	14447.98	13644.89	13168.65	12699.20	12144.15			
	光瞳口径/mm	102.67	定向距离	13249.36	12290.48	11508.90	11035.23	10567.22	10021.69			
	视场	4.00°×3.00°	识别距离	7223.85	6942.33	6681.91	6424.13	6140.87	5796.96			
		7.50~10.50	认清距离	4561.14	<b>4338.95</b>	4137.39	3941.53	3730.39	3479.58			
	目标温度/K	18.00	分辨率	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90			
	背景温度/K	16.00	发现距离	14567.19	13611.29	12827.20	12368.73	11918.88	11385.84			
	目标尺寸/m <sup>2</sup>	2.30×2.30	定向距离	12514.82	11575.34	10812.43	10358.29	9913.52	9394.69			
	FPA	576×4	识别距离	6449.86	6198.50	5965.99	5735.83	5482.92	5175.86			
	系统焦比	F3	认清距离	4072.46	<b>3874.06</b>	3694.10	3519.22	3330.70	3106.77			
	探测器面元尺寸/μm	25×28										

\*注：视距取 X、Y 方向视距几何平均值