

面向防空实战问题的协同探测发展研究

王波兰, 施裕升, 王晓科

(上海机电工程研究所, 上海 201109)

摘要: 防空作战面临目标多样化、电磁环境复杂化、战法多变化的战场态势, 单传感器探测存在易被侦察和打击、易被干扰、覆盖区域有限等问题, 需要多传感器协同探测, 获取全面的空情信息, 从而夺取制空权。首先, 从近几年的几次局部战争出发, 分析了要地防空对协同探测的需求; 其次, 总结了国内外协同探测的建设情况; 最后, 从多传感器管控、协同探测融合、效能评估和策略修正三个方面提出了协同探测的主要发展方向, 为构建防空协同探测系统及突破相关关键技术提供重要参考。

关键词: 防空作战; 协同探测; 实战问题; 发展方向

中图分类号:E926.4; TN95 文献标志码:A 文章编号:1672-2337(2021)05-0598-06

Research on the Development of Cooperative Detection for Air Defense Combat

WANG Bolan, SHI Yusheng, WANG Xiaoke

(Shanghai Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai 201109, China)

Abstract: Air defense operations face the battlefield situation of diversified targets, complex electromagnetic environment and multiple changes in combat methods. Single sensor detection has some problems, such as being detected and attacked easily, being interfered easily, limited coverage and so on. Multi-sensor cooperative detection and comprehensive air information are needed to obtain air control. Firstly, starting from several local wars in recent years, this paper analyzes the needs of important air defense for cooperative detection. Secondly, this paper summarizes the construction of cooperative detection at home and abroad. Finally, the main development directions of cooperative detection are put forward from three aspects: multi-sensor management and control, cooperative detection fusion, effectiveness evaluation and strategy correction, which are important reference for building air defense cooperative detection system and breaking through relevant key technologies.

Key words: air defense; cooperative detection; actual combat problem; development direction

0 引言

制空权是指在作战过程中, 在一定的时间内控制一定的空间, 有效地限制敌方的作战行动, 并使己方享有行动的自由权^[1]。制空权的夺取贯穿战争始终, 并极大地影响和决定战争的进程和结局^[2]。其中, 防空探测是夺取制空权的前提和关键, 直接决定指挥控制和火力拦截作战效能。

随着技术和多平台联合体系的不断发展, 现代空袭战争中, 空袭兵器的数量、种类、能力激增, 空袭战法愈加灵活多变, 战场的复杂电磁干扰成倍提升。防空作战中, 雷达、光电等探测器各自为战, 存在易被侦察和打击、易被干扰、覆盖区域有

限等问题, 面临“看不见”、“看不全”、“看不清”等困境, 需要实施多传感器的协同探测^[3]。

协同探测, 指的是两个或两个以上的探测资源相互配合, 协调一致地完成目标探测任务^[4-5], 实现任务种类多、抗干扰能力强、系统健壮性高的探测能力。协同探测具有以下优势:

一是能量积累优势。通过协同将传感器资源综合应用、能量积累, 能够提升隐身目标的探测能力和复杂环境下的目标探测能力。

二是空间分布式优势。通过空间角度积累得益, 以及不同作战单元分布式部署形成体系预警和对抗能力, 提升整体的作战效能^[6]。

三是资源灵活调度优势。根据来袭目标威胁、环境、装备和战术等, 自适应调整资源配置, 提

升整个打击过程的资源利用效率。

四是火力快速分配优势。通过协同,形成全空域、高质量、快速及时的预警探测态势,提升多方位饱和攻击的火力快速分配和反应能力。

协同探测具有多方面的优势,是未来体系化作战的必然趋势。国内外学者对其进行了大量研究,主要有两个方向:一是协同架构角度,主要包括协同探测中传感器管理的优化方法综述^[7]、多传感器协同管理架构^[8]等;二是具体算法角度,主要包括同构或异构传感器协同算法^[9]、协同探测与资源管控^[10-11]等。无论是架构还是算法,协同探测最终都要用于实战。因此,从实战需求出发,分析协同探测的发展方向,更具实际工程意义。

本文首先以21世纪爆发的现代战争为牵引,分析了现代防空作战中防空探测面临的实战问题;其次,分析了美国、法国和中国的协同探测现状;最后,结合我国实际情况,分析了协同探测的发展方向,能够为构建防空协同探测系统及其关键技术攻关提供借鉴作用。

1 防空实战对协同探测的需求

21世纪以来,全球范围内发生了“叙利亚霍姆斯沙特拉特空军基地被袭”“叙利亚化学武器设施被袭”“沙特油田被袭”“春天之盾”“纳卡冲突”等局部战争,这里选取3个经典战例分析实战中防空探测面临的主要问题。

1.1 叙利亚化学武器设施被袭

2018年4月14日,美、英、法三国以叙利亚拥有并使用了化学武器等大规模杀伤性武器为由,对叙利亚国内多个目标进行了导弹袭击。本次空袭分为4个方向,如图1所示。佯攻方向:东地中海 北约在获悉雷达的部署位置后,认为叙方主要防御方向为东地中海,因此,仅发射了9枚巡航导弹;第一主攻方向:红海 北约部队发射了37枚“战斧”巡航导弹,依靠山地地形遮挡雷达探测距离,且远处山地会产生强杂波;第二主攻方向:阿拉伯湾北部 北约部队发射了23枚“战斧”巡航导弹,此处地形呈坡地,山顶的雷达处于下视,极度影响探测距离与发现概率;第三主攻方向:卡塔尔

此处地形比较开阔,发射了19枚隐身导弹,实现快速、突然的隐身突防。



图1 叙利亚化学武器设施被袭的作战态势图

该战役中防空方存在的防空探测问题:

- 1) 缺乏合理的部署,叙军雷达部署存在战术缺陷,且容易暴露。叙军将预警雷达与跟踪制导雷达均部署在山顶,易暴露且存在探测盲区,使得三国部队找到了进攻的突破点。
- 2) 缺乏合理的警戒,无法尽早地发现目标。叙军没有考虑到各类空域的探测效能,当超低空隐身目标十分接近时,雷达才发现目标,但为时已晚。
- 3) 缺乏全方位的多目标探测能力,无法看全目标。面对全方位的饱和攻击,“手忙脚乱”,作战效能大大降低。
- 4) 缺乏超低空、隐身目标的探测能力,无法看准目标。雷达受地球曲率和山地地形影响,超低空目标探测距离被严重压缩。此外,探测隐身目标时,点迹时有时无,无法形成完整航迹。

1.2 沙特油田被袭

2019年9月14日凌晨,沙特东北部的炼油厂和油田突然遭到也门胡赛武装袭击,参与这次袭击的有18架无人机和7枚导弹,多处石油设施发生连环爆炸并燃起大火,如图2所示。14日之前,也门胡赛武装利用长航时无人机对沙特石油设施进行多次空中侦察拍照,获得了大量的装备信息;袭击开始后,Kassef-3、Samad-3 和一型未公开的无人机从不同地点起飞,航路经过精细规划,其中一架无人机带有电子压制设备,在电子压制干扰

保护下,多架无人机抵近目标并进行了空袭;袭击完成后,无人侦察机还对目标进行了毁伤评估,根据毁伤效果判断是否再进行打击。

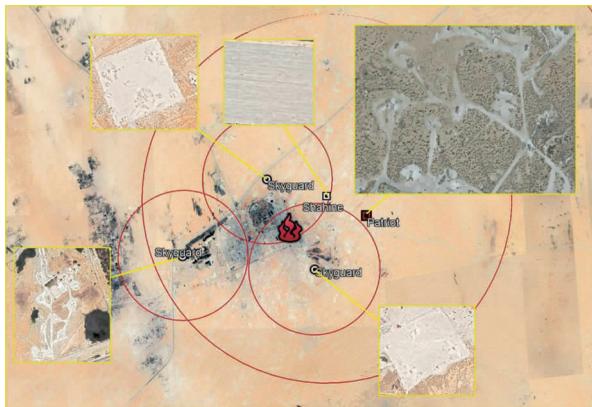


图 2 沙特油田的防空警戒区域与被袭图

执行此次袭击任务的 Kassef-3 无人机,飞行速度仅 150 km/h,作战高度最低可达 20 m,属于典型的低慢小目标,如图 3 所示。



图 3 执行空袭任务的无人机

该战役中防空方存在的防空探测问题:

- 1) 缺乏合理的部署筹划方案,无法隐蔽自身位置和装备类型,同时对敌方可能的进攻形式想定有疏漏。防空方一直没有发现无人机目标,导致无人机侦察了装备部署,并形成了警戒区域态势图。

- 2) 缺乏合理的警戒筹划方案,没有考虑到超低空目标探测,无法实现全空域防御。沙特没有关注超低空区域的防御,对无人机目标的来袭浑然不知,雷达刚反应时就被摧毁。

- 3) 缺乏探测低慢小目标的能力,无法及时看准目标。由于低慢小目标的 RCS 较小,速度较慢,低空杂波较强,传统雷达难以探测该类目标。

- 4) 缺乏合理的战后效能评估,无法及时修正

战术战法。借鉴空袭方的毁伤评估战法,若沙特能够根据各传感器状态及时反馈战场态势,优化战术战法,或许能降低损失。

1.3 “春天之盾”军事行动

2020 年 3 月 1 日,土耳其军队对叙利亚政府军发起代号为“春天之盾”的军事行动。首先,土耳其出动大型无人攻击机编队,采用高空突防方式进入交战空域,对“铠甲-S1”武器系统制导雷达进行电子侦察,将所得雷达特征参数传递至后方“科拉尔”(KORAL)电子战系统;然后,“科拉尔”电子战系统产生大功率射频信号,进行远距支援干扰,使“铠甲-S1”武器系统搜索雷达丧失作战能力;最后,土军 TB2 攻击无人机编队在电子干扰掩护下进入机载武器射程后引导空地导弹对“铠甲-S1”武器系统进行精确打击,如图 4 所示,而铠甲武器系统未发射导弹进行拦截,暴露出其在复杂作战场景下战场生存能力不足。



图 4 “铠甲-S1”武器系统被锁定跟踪的图像

该战役中防空方存在的防空探测问题:

- 1) 缺乏合理的部署筹划方案,无法隐蔽自身的阵地位置。叙军在近程末端部署单装,明显是错误的,大大增加了单装系统的暴露风险。

- 2) 缺乏有效的抗干扰能力,无法看清目标。由于配备单装,搜索、跟踪雷达受到干扰时,叙军一直没有实施反击。

- 3) 缺乏多目标的跟踪能力,无法看全目标。铠甲系统在干扰下目标跟踪数量减少,并且容易丢失,无法稳定跟踪。

1.4 小结

通过上述 3 个战例的分析,防空探测实战问题如表 1 所示。

表1 现代战争暴露的防空探测问题

问题归类	具体内容	本文典型战例
多传感器管控	• 缺乏合理有效的阵地部署和警戒筹划方案,使得战前容易暴露自身位置、工作参数等,以及探测范围无法覆盖全空域; • 缺乏应对多目标饱和攻击的能力,在实战中探测资源有限,无法看全目标	战例 1.1、1.2、1.3 战例 1.1、1.3
协同探测融合	• 缺乏有效的抗干扰措施,在实战中易受到压制干扰或欺骗干扰,无法看清目标; • 缺乏有效应对隐身突防、超低空突防、无人机目标的能力,在实战中无法看准目标	战例 1.2、1.3 战例 1.1、1.2
探测效能评估	• 缺乏合理的战后效能评估,无法实时反馈各传感器状态,从而优化战术战法	战例 1.2

2 协同探测建设现状

2.1 美国

CEC 协同交战能力(Cooperative Engagement Capability)^[12]系统起源于冷战时期,美国海军针对防御巡航导弹对其舰艇的攻击而提出,通过将战场上的舰载和机载雷达链接起来,将各节点传感器的探测情况一并处理运算以产生非常精确的单一集成空中图像(Single Integrated Air Picture, SIAP),允许舰艇与其本身传感器作用距离以外的目标作战。

CEC 在协同探测上的关键能力体现在复合追踪与识别(Composite Tracking and Identification)以及精确提示(Precision Cueing)上。这两项技术具备的优势主要有两个方面:1) 管控方面。整合处理间断信号,掌握匿踪目标(隐身或超材料目标);提前获得战场目标态势,增加拦截纵深,为超视距拦截、多次拦截等创造条件。2) 融合方面。通过多点联合定位演算有助于获得比单一雷达更精确的目标坐标信息,效果示意图如图 5 所示;利用各节点传感器的信息互补,有助于生成清晰稳定的动态目标轨迹,效果示意图如图 6 所示。

2.2 法国

法国海军目前已建成协同交战能力体系,也成为美国之外世界上第二个公开具备独立海军协同交战能力的国家。其协同交战能力体系称为“多平台

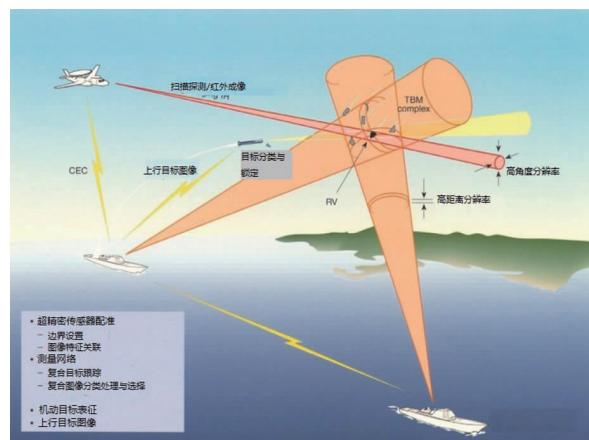


图 5 多节点联合运算提升精度

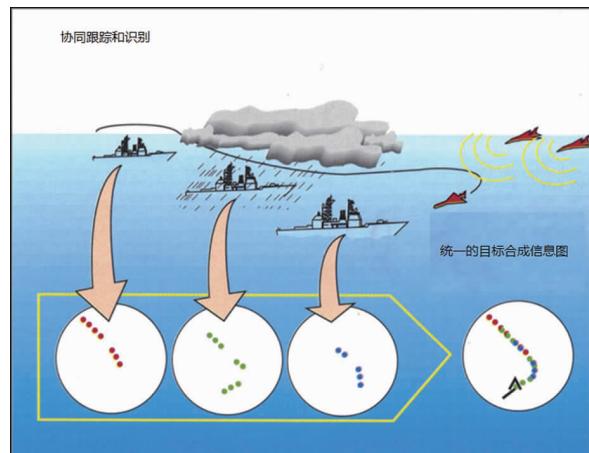


图 6 多节点联合生成目标轨迹

态势感知演示验证系统"(TSMPF)^[13],如图 7 所示。该系统同 CEC 一样,是高质量的态势感知和综合火力控制信息系统,通过将地理上分散的各个传感器(例如舰艇和航空器)实时联接,形成“统一整合的信息图谱”,提升整个传感器集团的协同作战能力。2017 年,该系统进行了模拟作战演示,“戴高乐”号、“地平线”级和“阿基坦”级上的传感器组成传感器网,共享空情态势,成功对由 8 架“阵风”战斗机组成

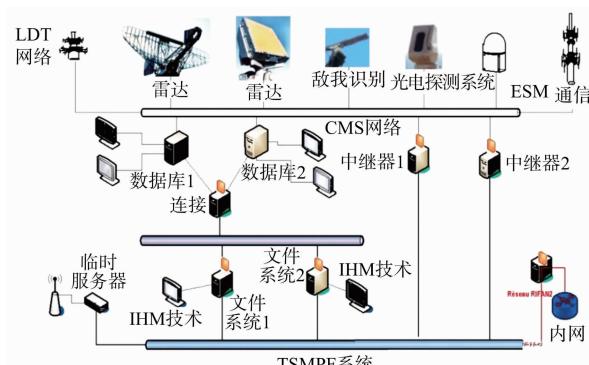


图 7 TSMPF 系统组成图

的模拟打击集团进行了有效的应对和拦截。

2.3 中国

目前定型或在研装备已初步具备了作战连协同、主从车协同等作战模式^[14], 在连指挥车或主车的集中指挥下具有雷达探测信息共享及数据融合、火力分配等, 但距离网络化协同作战还有一定的差距。特别是在协同探测、融合、打击策略及高速实时数据链等方面未取得技术突破, 未实现工程应用。

2.4 小结

从国外的实战现状来看, 美、法两国的协同探测系统发展成熟, 并在工程应用上有所建树。然而, 根据有关报道和文献可知, 国内协同探测系统的研究还处于起步阶段, 与国外相比, 尤其是美国, 在技术研究和工程应用方面还存在较大差距。

3 协同探测发展方向分析

通过上述实战分析, 结合未来战争典型态势的推演可知, 协同探测的主要问题是战前的部署考虑不周、战前的警戒区域覆盖不广、战中的目标定位探测效能较差(包括抗干扰、超低空隐身、无人机目标等)、战中的抗饱和攻击能力较差、战后的毁伤效果评估技术匮乏。因此协同探测的发展重点主要围绕多传感器管控、协同探测融合、效能评估和策略修正这三方面, 彼此关系图如图 8 所示。

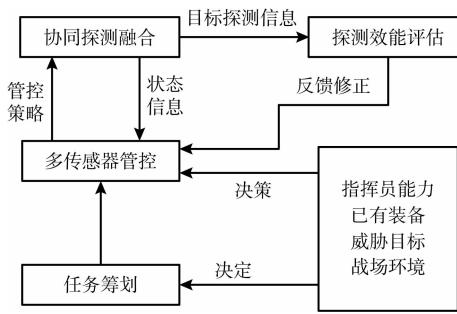


图 8 协同探测发展方向分析图

3.1 作战任务筹划与传感器管控

多传感器协同探测之间需要筹划作战任务, 明确作战需求。即在获得敌方情报的基础上, 在满足各个传感器的约束条件下, 战前静态分析敌

方可能的作战态势, 预先判断敌方可能采取的攻击方式、攻击目标、航线、时机等, 设计各种针对性的探测方案。或者是, 战中根据敌方的超低空突防、隐身突防、饱和攻击等进攻态势, 实时动态规划作战任务, 合理调度传感器的探测资源, 最大满足作战需求。

完成作战任务筹划后, 需要进行传感器的管控。即在满足战场环境条件以及各种战术和技术指标等约束下, 根据作战任务需求, 确定传感器的最优部署位置, 以满足最大的探测空域; 确定何种传感器执行何种探测任务, 以满足探测何种类型的目标; 确定传感器的最优工作参数与调用规划, 以满足探测资源的合理利用。

综上, 作战任务筹划与传感器管控的关系图如图 9 所示。

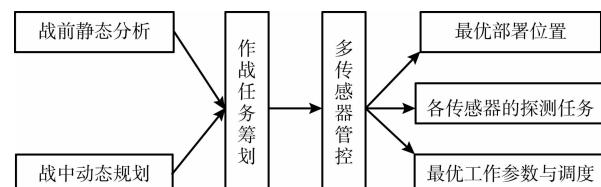


图 9 多传感器管控的发展方向

3.2 针对新型目标和空袭战法的协同探测融合定位

在各种作战样式中, 最重要的作战任务需求就是对目标的探测与定位, 获取目标的位置信息, 并稳定跟踪目标。针对上文分析的战例, 从新型目标和空袭战法两个方面探讨协同探测定位的发展方向, 如图 10 所示。

1) 新型目标。由前文可知, 无人机作战逐渐成为未来空袭的热点之一。传统雷达难以发现该类目标, 需要研发专门针对无人机的探测雷达。或者, 可以采用无线电信号监测、光电识别跟踪以及声音监测等辅助手段进行多源信息融合, 获取高质量目标信息。关键技术主要有基于运动模型识别的信息融合定位、基于深度学习的智能融合定位、基于位置信息与语义地图融合的探测定位等。

2) 空袭战法。由前文可知, 空袭战法主要有饱和攻击、强电子干扰、超低空突防、隐身突防等。面对这些空袭战法, 需要联合多个同构或异构传感器进行信息互补。关键技术主要有基于多源信息融合的智能规划技术、智能抗干扰技术、反隐身

技术等。

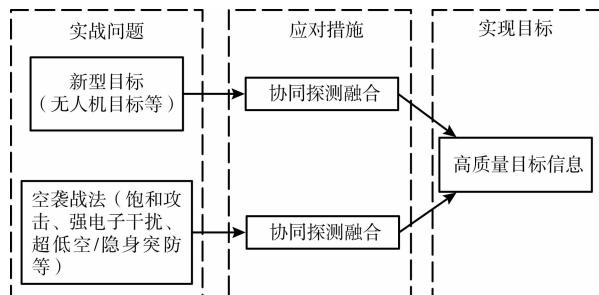


图 10 协同探测融合的发展方向

3.3 协同探测效能的建模仿真与试验评估技术

协同探测效能的建模仿真是从理论上分析协同探测的效能,协同探测效能的试验评估是从实际作战上检验协同探测的效能。为了能在实战中实时、合理、有效评估各传感器状态和协同作战效果,优化后续的战术战法,需要大力开展协同探测效能的建模仿真与试验评估技术,主要内容如图 11 所示。

1) 协同探测效能的建模仿真。对于协同探测系统的复杂性而言,探测效能的建模仿真需要从体系的思维出发,凸显协同系统的属性,即“体系建模”。建模方案可分为 3 个主要部分:军事概念模型、数学度量模型和系统仿真模型。

2) 协同探测效能的试验评估。需要构建不同的试验环境,包括典型的、最常见的、最极端的等,尽可能地全方位评估协同探测效能;综合采用多种评估方法,充分利用多种评估方法的优势,根据各种指标选择合适的评估方法。

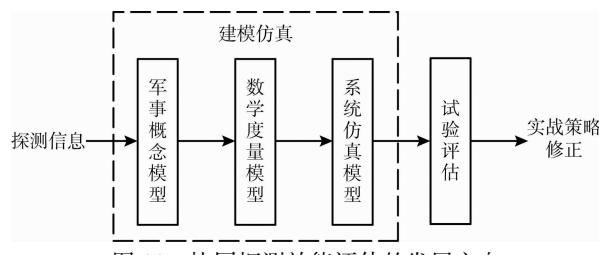


图 11 协同探测效能评估的发展方向

4 结束语

面临目标多样化、电磁环境复杂化、战法多变化的战场态势,防空协同探测是未来体系化作战的必然趋势。本文首先研究了现代战争中防空探测的实战需求,并从多传感器管控、融合和效能评估进行了总结与归纳;其次综述了国内外协同探

测的建设现状;最后针对多传感器管控、融合、效能评估三个方面分析了我国建设协同探测的发展方向,为构建防空协同探测系统及其关键技术攻关提供借鉴作用。

参考文献:

- [1] 宋宜昌. 人与天空:制空权理论与活塞螺旋桨时代[J]. 军事文摘,2017(7):80.
- [2] 董文先. 制空权是战争胜负的关键[N]. 中国国防报,2015-05-26(22).
- [3] 唐胜景,史松伟,张尧,等. 智能化分布式协同作战体系发展综述[J]. 空天防御,2019,2(1):6-13.
- [4] 何友,王国宏. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [5] 霍智慧. 网络协同探测技术研究与实现[D]. 成都:电子科技大学,2020.
- [6] 韩志刚,卿利. 多节点传感器协同探测技术综述与展望[J]. 电讯技术,2020,60(3):358-364.
- [7] 鲁彦希. 网络化雷达协同探测与资源管理研究[D]. 成都:电子科技大学,2020.
- [8] 赵建恒,许蕴山,邓有为,等. 一种面向协同探测的多传感器管理系统架构[J]. 电光与控制,2015,22(6):6-10.
- [9] 卞伟伟,邱旭阳,王飞,等. 一种改进的多元传感器协同探测粒子群算法[J]. 指挥控制与仿真,2020,42(1):29-33.
- [10] 邹文星,丁建江,李赣华. C2BMC 中的传感器协同探测与资源管控技术研究[J]. 现代雷达,2020,42(12):33-39.
- [11] 廖卫东,王建. 基于资源池的雷达协同探测系统资源调度策略[J]. 现代防御技术,2017,45(5):93-99.
- [12] 李洁,罗军,马艳,等. 美军协同交战系统的发展启示[J]. 电讯技术,2021,61(7):913-918.
- [13] 张晓岚. 协同作战能力多平台网络[J]. 上海航天,2006,23(1):56.
- [14] 杨维,金景峰,赵凯,等. 防空武器系统协同作战与信息传输精度分析[J]. 火炮发射与控制学报,2020,41(3):39-43.

作者简介:



王波兰 女,1978 年出生,江苏无锡人,研究员,主要研究方向为武器系统总体设计。