

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.08.002

引用格式:焦广伦. 预警机自卫系统现状与发展建议[J]. 电讯技术, 2014, 54(8):1046-1051. [JIAO Guang-lun. Current Status of and Development Suggestions for Airborne Warning and Control System Self-defense System[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(8):1046-1051.]

预警机自卫系统现状与发展建议*

焦广伦**

(中国电子科学研究院, 北京 100041)

摘要:对预警机自身目标特性、面对的主要威胁和预警机自卫系统现状进行了分析, 得出了预警机自卫系统存在告警手段单一、自卫手段不足的差距。指出预警机自卫系统要向配备多元化的告警手段、形成复合对抗体系, 信息综合处理、形成综合告警信息, 有源和无源干扰结合、配备主动攻击手段和加强结构防护等方向发展, 可为今后预警机自卫系统设计提供参考。

关键词:预警机; 自卫措施; 告警系统; 有源干扰; 无源干扰; 发展建议

中图分类号: TN972 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-893X(2014)08-1046-06

Current Status of and Development Suggestions for Airborne Warning and Control System Self-defense System

JIAO Guang-lun

(China Academy of Electronics and Information Technology, Beijing 100041, China)

Abstract: The target characteristics, major threat and self-defense system of airborne warning and control system(AWACS) are analyzed. The warning measures and self-defense measures of AWACS are insufficient. The future development directions of AWACS self-defense system are pointed out, such as being equipped with diversified warning measures to form a composite combat system, processing warning information integratedly, combining active and passive interference and being equipped with active attack means, and strengthening the structure protection, which provides a reference for future AWACS self-defense system design.

Key words: AWACS; self-defense measures; warning system; active jamming; passive jamming; development suggestion

1 引言

预警机集预警、通信和指挥控制功能于一身, 是现代战争中的重要力量。预警机一般在获得制空权的安全空域飞行。但由于预警机的重要作用, 预警机往往是敌人最先选择的攻击或干扰目标。而预警机飞行航线比较呆板, 易于被探测并受攻击^[1]。在世界各军事强国中, 生存力已是军用飞机设计和使用的战技指标之一^[2], 而预警机的生存力也是其总体性能的重要组成部分^[3-4]。预警机自卫系

统就是提升其自身生存力的重要保障, 即通过雷达告警系统、导弹逼近告警系统等探测手段获得威胁目标的方位和特性, 并通过无源干扰、有源干扰等对抗措施, 使得预警机脱离威胁^[5]。随着时代发展, 攻击手段也是日新月异, 尤其是 F22、F35 等高速隐身飞机和专门用于反预警机的高速、远程空空导弹、激光武器的出现, 很容易突破现役预警机的防御圈, 从而对预警机的自卫手段提出了更高的要求。

* 收稿日期: 2014-03-03; 修回日期: 2014-07-02 Received date: 2014-03-03; Revised date: 2014-07-02

** 通讯作者: jiaoguanglun@sina.com Corresponding author: jiaoguanglun@sina.com

2 预警机的目标特性

目前国际上主流固定翼预警机主要有美国的

E-3 系列、E-2 系列,俄罗斯的 A-50,以色列的“费尔康”(PHALCON)、“海雕”,瑞典的 ERIEYE,澳大利亚的“楔尾”等,主要参数见表 1。

表 1 主流固定翼预警机平台特性
Table 1 Platform features of mainstream fixed-wing AWACS

机 型	载机型号	雷达天线罩外形	续航时间/h	巡航高度或 升限/m	巡航速度 /($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
E-3 系列	波音 707	机械式圆盘	11.0	8 840	825
E-2 系列	特制	机械式圆盘	6.0	11 278	278 ~ 463
A-50	IL-76	机械式圆盘	7.5	12 000	700
PHALCON	IL-76	固定式圆盘	7.2	12 000	700
“海雕”	湾流 550	准共型阵	10.0	15 000	1 041
ERIEYE	SAAB2000	平衡木	8.0	9 450	657
“楔尾”	波音 737	平衡木+端射	8.3	12 500	740

从表 1 中不难看出预警机具有的特点,下面具体说明。

(1) 目标大

预警机为了获得较大的载重和长的执勤时间通常选用大型、先进的喷气式客机、运输机或长航时高端商务机作为载机平台,如 E-3 选用波音 707, A-50 选用 IL-76,“楔尾”选用波音 737。通常,还加装了背负式圆盘或平衡木,相对于战斗机来说目标大, RCS 通常可以达到几十到上百平方米。就连普通战机也能在较远的距离上探测到预警机,从而增加了被攻击的风险。

(2) 辐射特性强

预警机由于加装了大功率的雷达、敌我识别和多部通信电台,故其电磁辐射强,是反辐射导弹理想的攻击目标。此外预警机体型大,机体红外辐射也大;同时由于安装的发动机相对于战斗机来说功率更大,由发动机产生的红外辐射(通常包括尾喷管辐射和尾焰辐射)也更大。一般而言,预警机总的红外辐射密度通常在 kW/sr 左右,极易受红外制导武器的攻击。

预警机的典型红外辐射来源如图 1 所示。

(3) 机动性差

由于预警机载机平台速度慢(通常为 $0.6 \sim$

0.8 Mach),而且机动能力有限,在遇到攻击时不能像战斗机那样做大的机动动作规避,从而不能有效躲避攻击。

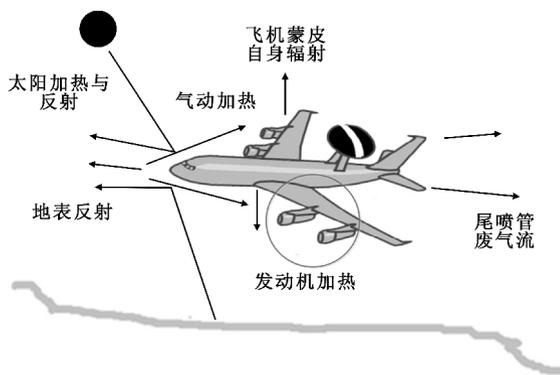


图 1 预警机红外辐射来源
Fig. 1 Infrared radiation source of AWACS

3 预警机面对的主要威胁

预警机当前面对的主要威胁主要有敌方战机、舰艇和地面武器系统发射的空空导弹、面(地、水)空导弹。随着隐身作战飞机的出现,预警机更易被突防,受到其所发射导弹的攻击。目前空空导弹威胁主要为近程和中程级别,射程在 120 km 以内。按

照制导方式不同,导弹主要分为单一寻的制导导弹和多模复合寻的制导导弹两类。单一寻的制导导弹又分为微波制导导弹、光学制导导弹,其中光学制导导弹大量的为红外制导导弹。

多模复合制导导弹采用不同工作模式或体制的探测传感器完成末端寻的制导。常见的复合制导导弹有光学多模导引(如“毒刺”近程地空导弹)、微波/红外双模导引(如拉姆(RAM)导弹)、雷达多模制导(如“爱国者”导弹 FAC-3)等方式^[6]。进入 21 世纪以来,具有成像制导的导弹也大量装备,增加了预警机自卫干扰的难度。

在今后一个时期,预警机还需要面对专门用于反预警机的高速、远程空空导弹。例如美军正在开展射程达 300 km 的先进远程空空导弹研制;俄罗斯也正在进行射程达 400 km 的 R-77 改进型和 KS-172 型远程空空导弹的研制,另外还对 Kh-31 空地反辐射导弹进行改装,用以攻击空中预警机^[7]。

此外,预警机面临的还有新式武器威胁,主要是包括激光武器、微波武器和粒子束武器等在内的定向能武器。微波武器和粒子束武器离投入使用还有一定的距离。而目前激光武器发展迅速,战术激光武器适用于多种作战任务,相信在不远的未来会大量应用到实战。美军机载激光武器已经进入武器集成试验阶段并取得了重大进展^[8]。据报道,美国海军将于近期在部署于海湾地区的“庞塞”号军舰上安装激光武器。

4 现役预警机自卫系统现状与差距

现役预警机配备自卫系统情况参见表 2。从表中看出,所有预警机都配备了一定的雷达告警系统(或功能),其中“楔尾”预警机还配备了导弹逼近告警系统、激光警戒装置,告警功能较全面。而配备干扰系统的主要有 E-3、A-50、“海雕”、ERIEYE 和“楔尾”5 种。配备的干扰手段主要是定向红外对抗装置、有源电子干扰机和箔条/红外弹投放器。其中 E-3、“海雕”和“楔尾”预警机具有较强的光电对抗能力。E-2 借助于其雷达和 AN/ALQ-217 电子支援措施(ESM)系统能充分地加强环境感知能力,能为 E-2 自身提供潜在威胁预警,因而不装备射频和红外干扰机等电子对抗设备,甚至没有装备箔条/曳光投放器。

表 2 国外主要预警机自卫系统对照表

Table 2 The contrast of self-defense system equipped on foreign main AWACS

型号	告警系统	干扰系统
E-3 系列	AN/AYR-1 电子侦察系统/ARI 18240/1 电子战支援吊舱	加挂箔条/红外投放器、自卫干扰机和红外对抗装置
E-2 系列	AN/ALR-73 AN/ALR-217A 电子侦察系统 ^[9]	—
A-50	装有雷达告警设备	装备有源干扰机、干扰箔条、红外弹投射器 ^[10]
PHALCON	EL/L - 8300A ESM/ELINT 系统	—
“海雕”	EL/L - 8382 ESM/ELINT 系统,具有雷达威胁告警、导弹逼近告警系统	干扰投放、定向红外对抗
ERIEYE	装有雷达告警设备	ELIPS-ADS 干扰投放器
“楔尾”	EL/L - 8382 ESM/ELINT 系统;包括雷达警戒装置、AN/AAR-54(V) 导弹逼近告警系统、激光警戒装置	AN/AAQ-24(V) 红外对抗系统 ^[11]

从表 2 中不难看出,现役预警机典型的自卫系统包括两部分:告警系统和干扰系统。其中告警系统根据自身的告警传感器获取信息进行告警,可以接收来自预警机任务系统(主要有电子侦察系统)给出的威胁告警信息,或者按照设置做出相应的自动干扰决策,并给干扰系统相应指令实施干扰动作(参见图 2)。

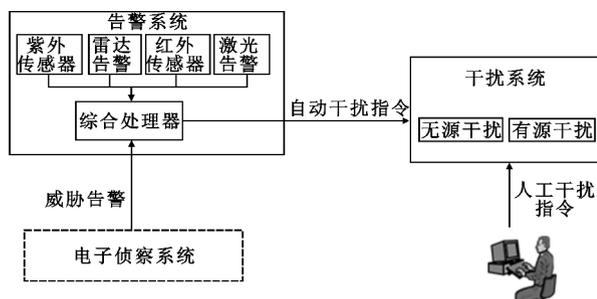


图 2 典型自卫系统组成

Fig. 2 Typical composition of self-defense system

4.1 告警系统

告警系统自身主要有 4 类传感器可以获得告警信息:雷达告警系统(RWR)、紫外告警设备、红外告

警设备和激光告警系统。其中雷达告警系统通过探测导弹制导雷达的辐射信号而发出警报,通常RWR也是电子侦察系统(ESM)的功能之一^[1]。而紫外告警设备、红外告警设备和激光告警系统也称为导弹逼近告警器^[12]。紫外传感器通过探测来袭导弹发动机工作时羽烟紫外辐射的特征,发出告警信息。红外传感器通过探测来袭导弹红外辐射的特征,发出告警信息。激光告警系统通过探测敌方激光照射指示信号和激光雷达脉冲获取威胁目标信息而发出告警信息^[1]。

综合处理器实时处理雷达告警系统、紫外告警设备、红外告警设备和激光告警系统发出的告警信息,自动选择投放程序或接收告警显控器的人工投放控制命令,控制集成发射器按程序投放干扰弹,并将告警信息、余弹数等上报告警显控器。

4.2 干扰系统

干扰系统主要有无源干扰和有源干扰两类,其中有源干扰主要指电子干扰、红外对抗等手段;无源干扰主要指通过投放箔条干扰弹、红外干扰弹等手段。在预警机通过有源干扰或无源干扰手段进行自卫的同时,还可采取较大的机动动作脱离原来航线,甩开来袭导弹,致使导弹不能及时修正误差而脱靶^[13],如图3所示。

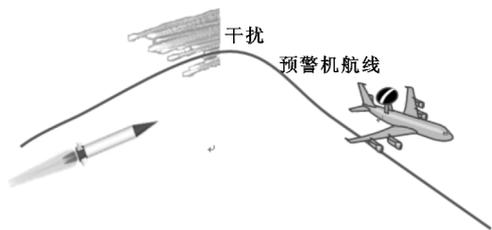


图3 预警机规避导弹机动示意图

Fig. 3 Schematic diagram of AWACS maneuver to avoid missile

4.2.1 电子干扰

通过对微波制导或被动寻的的导弹进行噪声和欺骗干扰,使其无法锁定目标;或采用积极干扰措施,干扰导弹的引信装置,使无线电引信不能引爆或提前引爆,降低其命中概率^[14],如A-50预警机就装备了有源干扰机。

4.2.2 红外对抗措施

红外制导导弹是作战飞机的最大威胁。过去在战场上损失的飞机中,被红外导弹击落击伤的占绝大多数。机载红外对抗的主要手段是红外诱饵弹和红外干扰系统,其中红外干扰系统可对来袭导弹的

热寻的头发射红外/激光,使其偏离航向^[15]。如“楔尾”预警机上装备的是由美国和英国联合研制的第一个可作战部署的AN/AAQ-24(V)(又称“复仇女神”(Nemesis))定向红外对抗(DIRCM)系统。

4.2.3 无源干扰

对红外点源制导导弹,通常使用“点源”式红外干扰弹实施干扰,必要时,可同时投放多发干扰弹。对红外成像制导导弹,通常可使用烟幕干扰、面源红外诱饵、“伴飞”式干扰弹实施干扰^[16]。

对于微波制导导弹的无源干扰手段主要为投放箔条弹,用于干扰微波制导导弹进入雷达末制导的自动导引阶段,使得导弹的雷达导引头去跟踪箔条弹形成的诱饵目标和预警机的合成质心^[17]。

4.3 差距

上述预警机自卫系统具有以下特点:

(1)告警手段相对简单。多依赖于雷达告警设备和光电传感器,部分具备电子侦察系统的信息接口。通常对威胁目标的告警距离近,响应时间短;

(2)自卫手段不足。其自卫途径多通过无源干扰实现,部分具备有源的电子干扰和红外对抗措施,但缺少主动打击目标的能力。而进攻性武器单靠电子干扰和红外对抗的软杀伤手段,已难以有效地摆脱攻击目标的“跟踪盯梢”。目标一旦来袭,采取第一轮自卫措施无效后,无法再次自卫,即不具备二次自卫能力。

总的来说,上述预警机自卫系统可以对抗传统的微波制导导弹、光学制导导弹和红外成像导弹,但其自卫系统对于专门用于反预警机的高速、远程空空导弹和新式的激光武器等威胁缺少及时响应能力,无法有效实施干扰对抗。

5 预警机自卫系统发展建议

5.1 建立多元化的告警手段,形成复合对抗体系

为了应对新式武器等威胁,预警机机载告警系统仅靠自身的雷达告警、紫外告警设备、红外告警设备和激光告警系统中的任何一种传感器的告警信息是远远不够的。在提升上述告警设备性能的基础上,必须选用多种告警手段,将雷达告警、紫外告警设备、红外告警设备和激光告警系统等告警手段结合,形成复合光电对抗体系。

5.2 信息综合处理,形成综合告警信息

在多元化的告警手段基础上,还需要综合预警

机平台自身配备的雷达、电子侦察系统、通信侦察系统和红外探测等高性能传感器信息(如美国已发展的两种红外预警系统,RC-135S“眼镜蛇球”(Cobra Ball)和“门警”(Gate Keeper)系统,可以探测巡航导弹,其探测距离可达90 km^[18]),更需要通过空基信息网络接收其他平台(如护航力量)提供的侦测信息(如图4所示),进行综合处理,在较远的距离上提前给出威胁目标的距离和方位等信息,形成综合告警情报,为干扰系统发挥最优化功能提供决策基础。

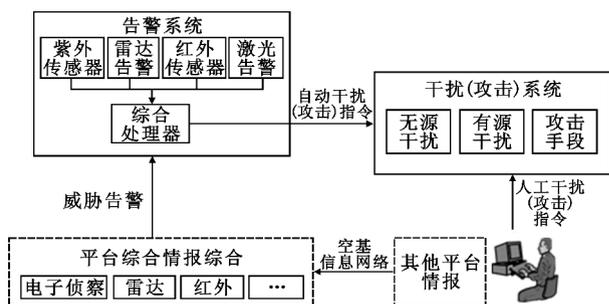


图4 新型自卫系统组成

Fig.4 Composition of a new self-defense system

5.3 有源和无源干扰结合,配备主动攻击手段

随着预警机雷达、电子侦察系统、通信侦察系统和红外探测等探测传感器情报质量的提高,同时通过空基网络与其他平台实现告警信息的融合,提高威胁目标的数据率、探测概率和探测精度。在预警机告警情报质量得到极大提高的情况下,除一般的无源干扰和有源干扰手段外,还可以配备空空导弹和激光武器等打击手段(参见图4)来完成对目标的摧毁而防护自身,而预警机平台一般较大,有较好的电气条件和结构安装条件,为加装主动攻击设备提供了客观物质基础。例如50%以上的精确制导武器采用光电制导方式,通过激光武器的光学效应可以致盲导引头^[19]和使导引头整流罩炸裂,破坏精确制导武器的导引头和气动外形,使其偏离目标^[8]。

5.4 加强新材料等结构防护手段

针对激光武器的威胁,文献[20]提出了激光武器的防护手段有滚动飞行、可采用抗激光结构设计飞行器壳体和应用抗激光物质涂层技术增大飞行器壳体对激光的反射系数等措施。从预警机自身特点来看,除在遇到激光武器攻击时通过一定的机动或转向动作来避免激光照射一个固定部位,防止热烧蚀破坏外,更重要的是在设计阶段要采取抗激光结

构设计和抗激光物质涂层来加强防护。

6 结束语

预警机自卫措施需根据来袭目标的不同而选用,由于预警机面对的攻击目标多种多样,期望通过一套自卫系统完成对所有来袭目标的对抗是不现实的。另一方面,自卫措施是针对敌方战机、导弹等目标突破预警机护航编队后实施的紧急自卫手段,而加强护航力量和情报侦测,尽早获取威胁目标信息并通过护航编队完成对敌方攻击平台和发射武器的拦截,使其不能主动攻击到预警机周边是最好的自卫措施。

参考文献:

- [1] 陆军,郅能敬,曹晨,等. 预警机系统导论[M]. 北京:国防工业出版社,2011:97-98.
LU Jun, LI Neng-jing, CAO Chen, et al. Introduction to Airborne Early Warning System [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011: 97-98. (in Chinese)
- [2] David H H, Ronald M D, Michael S R. Unmanned Aerial System Survivability[C]//Proceedings of 50th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. California, USA: AIAA, 2009:1-7.
- [3] Ball R E. The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design[M]. 2nd ed. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2003.
- [4] 杨哲,李曙林,周莉,等. 机载自卫压制干扰和箔条干扰下飞机生存力研究[J]. 北京理工大学学报,2013,33(4):375-379.
YANG Zhe, LI Shu-lin, ZHOU Li, et al. Study of Aircraft Survivability Under the Conditions of Self-Defense Jamming and Chaff Jamming[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2013, 33(4): 375-379. (in Chinese)
- [5] 廖辉荣,李国林. 机载自卫电子战系统对引信信号侦察的作用评估[J]. 电讯技术,2011,51(3):106-110.
LIAO Hui-rong, LI Guo-lin. Essentiality of Airborne Self-Protection Electronic Warfare System to Scout Fuze Signal [J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(3): 106-110. (in Chinese)
- [6] 徐春爽. 复合制导技术的现状与发展[J]. 制导与引信,2008,29(1):17-21.
XU Chun-yi. The Present State and Development of Compound Guidance Technology[J]. Guidance & Fuze, 2008, 29(1): 17-21. (in Chinese)
- [7] 高建军. 远程空空导弹制导与控制技术[J]. 制导与引信,2010,31(1):14-18.
GAO Jian-jun. The Guidance and Control Technology of

- Long Range Air to Air Missile [J]. Guidance&Fuze, 2010,31(1):14-18. (in Chinese)
- [8] 陈利玲. 美军机载激光武器攻防对抗研究[J]. 航天电子对抗,2011,27(6):8-10.
CHEN Li-ling. Research on the Airborne Laser Countermeasure of USA [J]. Aerospace Electronic Warfare, 2011,27(6):8-10. (in Chinese)
- [9] 张鹏. E-2D 预警机航空电子系统及其在未来网络中心战中的应用[J]. 电讯技术,2014, 54(5):689-694.
ZHANG Peng. Avionics System of E-2D and its Roles in Future Network-centric Operation [J]. Telecommunication Engineering,2014, 54(5):689-694. (in Chinese)
- [10] 连鲁军. 俄 A_50 与美 E_2C 预警机性能比较[J]. 国防科技,2005(1):34-36.
LIAN Lu-jun. Performance Comparison between Russia A-50 AEW and American E-2C AEW[J]. National Defense Science & Technology, 2005(1):34-36. (in Chinese)
- [11] 高智. 南太平洋空警澳大利亚“楔尾”预警机全解析[J]. 国际展望,2005,530(12):42-49.
GAO Zhi. Full-anatomy of South Pacific Air Police-Australia “Wedgetail” AWACS [J]. Word Outlook, 2005,530(12):42-49. (in Chinese)
- [12] 张璟琿,黄新松,吴志建. 机载自卫电子对抗装备作战目标分析[J]. 舰船电子对抗,2012,35(6):10-13.
ZHANG Jing-hui, HUANG Xin-song, WU Zhi-jian. Campaign Targets Analysis of Airborne Self-defense Electronic Countermeasure Equipment [J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2012, 35(6):10-13. (in Chinese)
- [13] 王辉,梅刚. 预警机红外对抗技术分析及其对抗措施[J]. 红外技术,2006,28(4):238-241.
WANG Hui, MEI Gang. The Technical Analysis of Infrared Countermeasures in AEW and the Measures Against Infrared Jamming[J]. Infrared Technology,2006, 28(4):238-241. (in Chinese)
- [14] 王喜焱,刘静,付伟. 反辐射武器的技术特点及对抗措施[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术,2002(5):15-19.
WANG Xi-yan, LIU Jing, FU Wei. Technical Features and countermeasures of Anti-radiation Weapons [J]. Information Command Control System & Simulation Technology,2002(5):15-19. (in Chinese)
- [15] 白林. 干扰红外成像制导武器的手段与发展动向[J]. 舰船电子工程,2009,29(4):34-38.
BAI Lin. Means and the Development Trend of the Interference Infrared Imaging-guided Weapon[J]. Ship Electronic Engineering,2009,29(4):34-38. (in Chinese)
- [16] 涂元柳,宋斌. 论红外导弹与红外干扰弹的对抗[J]. 光电技术应用,2005,20(6):7-9.
GAN Yuan-liu, SONG Bin. Discussion on Infra-red Guided Missile and Infra-red Decoy Flare[J]. Electro-optic Technology Application, 2005, 20(6):7-9. (in Chinese)
- [17] 白岚,王科. 机载箔条干扰弹投放时机的仿真研究[J]. 舰船电子工程,2012,32(12):85-87.
BAI Lan, WANG Ke. Simulation Research on Launch Time to Airborne Chaff Decoy[J]. Ship Electronic Engineering,2012,32(12):85-87. (in Chinese)
- [18] 孙蕊. 高红外探测在预警机上的作用分析[J]. 激光与红外,2012,42(3):292-295.
SUN Rui. Applications of Infrared Detection in Early Warning Aircraft [J]. Laser & Infrared, 2012, 42(3):292-295. (in Chinese)
- [19] 何康,陈翻,赵世明. 激光对红外成像反舰导弹的对抗能力分析[J]. 舰船电子工程,2012,32(11):133-136.
HE Kang, CHEN Xuan, ZHAO Shi-ming. Confrontation Ability Analysis of Laser to Infrared Imaging Anti-ship Guided Weapons [J]. Ship Electronic Engineering, 2012,32(11):133-136. (in Chinese)
- [20] 徐惠忠. 高能激光武器的毁伤机理及飞行器防御途径分析[J]. 中国航天,2004(9):34-37.
XU Hui-zhong. Analysis on Damage Mechanism of High Energy Laser Weapon and Defense Approaches of Aircraft [J]. Aerospace China,2004(9):34-37. (in Chinese)

作者简介:



焦广伦(1976—),男,山东菏泽人,2003年于北京航空航天大学获通信与信息系统专业工学硕士学位,现为高级工程师,主要研究方向为综合电子信息系统总体设计、系统集成。

JIAO Guang-lun was born in Heze, Shandong Province, in 1976. He received the M. S. degree from Beijing University of Aeronautics and Astronautics in 2003. He is now a senior engineer. His research concerns system design and integration of integrated electronic information system.

Email:jiaoguanglun@sina.com