

文章编号:1007-1180(2011)11-0020-07

升空红外侦察探测技术研究

陈 健^{1,2}, 叶 新¹, 张 磊¹, 魏 巍³, 王 丽⁴

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049;

3. 长春奥普光电技术股份有限公司, 吉林 长春 130033;

4. 吉林省送变电工程公司, 吉林 长春 130033)

摘 要: 对升空红外侦察探测技术的内容和组成进行了阐述, 介绍了升空红外侦察探测技术的分类, 论述了升空红外侦察探测技术的系统组成及功能, 并对其主要技术性能和关键技术进行了分析。

关键词: 红外侦察; 升空平台; 电子对抗; 防空反导

中图分类号: TN215 **文献标识码:** A

DOI: 10.3788/OMEI20112811.0020

Technology of Infrared Detecting in the Air

CHEN Jian^{1,2}, YE Xin¹, ZHANG Lei¹, WEI Wei³, WANG Li⁴(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*3. *Changchun UP Optotech Co. Ltd., Changchun 130033, China;*4. *Jilin Company of Transmitting and Changing Electricity Project, Changchun 130000, China)*

Abstract: The content and the composition of infrared detecting technology in the air were described in this paper. The classification of the technology was introduced, and the system composition and function of the technology were discussed. Finally, the main technology capability and the key technology of infrared detecting in the air were analysed.

Keywords: infrared detecting; platform in the air; electron counterwork; aerial defense and anti missile

1 引言

以系留球载红外侦察探测系统为典型代表的新一代战场升空光电对抗情报侦察手段将成为未来战场光电对抗情报侦察的重要方式之一。利用升空平台实现光电对抗情报侦察的主要优点是:有利于对远方、超低空,隐身与高速运动目标实施红外探测,提高大纵深防空反导电子对抗防御体系的战术情报支援能力。众所周知,随着现代高技术武器装备的加速发展,地面防空系统面临越来越多的高空/超高速,以及低空/超低空中远程对地精确打击武器的威胁,特别是随着新一代对地攻击武器飞行高度的不断降低,对于超低空目标的探测预警已成为制约防空电子干扰手段运用的突出难题。在未来“三非”作战模式下,马赫数为6~10的隐身型高空、超音速飞机和巡航导弹的战场大量运用,将使现有地面光电侦察探测系统因受地球曲率、地形通视、以及低层大气衰减等多种因素,以及现有光电搜索体制的制约,而难以满足对超低空或超高速目标的全空域光电预警探测需求^[1-5]。

在此情形下,从保卫地面高价值战略目标需求出发,只有在尽可能远的距离上及时发现来袭目标,并确定其大致方位,方可对地面防空对抗体系实施有的放矢的引导。

通常,红外探测系统的作用距离取决于探测系统的技术性能、来袭目标的红外辐射强度,以及大气对该探测波段的透过率。鉴于目前多数红外探测系统中的探测器主要是从国外引进,难以指望在探测灵敏度上有大的提高;目标的红外辐射强度亦随着红外隐身技术的不断发展日趋减弱;因此,改善红外探测系统的工作条件,如利用升空平台将探测系统升高,避开低层大气或人口密集区域低空污染大气对目标红外辐射的严重衰减,减少地形地物对侦察空域的遮挡,扩展侦察空域和获得更远的通视距离,就成为改进红外预警系统作用距离的出路之一。除此之外,升高红外探测系统还将有利于发现

隐身目标,因为目前大多数红外隐身目标的主要隐身方向是朝向地面,而在朝天方向上仍存在较强红外辐射^[6-8]。

升空侦察平台的类型通常有系留气球、飞艇或遥控飞行器等。相比之下,系留气球的技术实现难度较小,战术使用也较为灵活。球载红外侦察探测系统可作为介于地面与机载光电侦察高度之间的侦察设备,覆盖百十公里以远的雷达探测与20 km以内地面红外告警之间的距离空白,纳入到防空光电对抗情报侦察体系中,重点用于探测超低空和超高速目标^[9-10]。

以美国为首的西方发达国家,自上世纪70年代以来一直致力于升空预警系统的发展。早期发展的“哨兵”遥控飞行器,作战半径50 km,续航时间24 h,机体形如“花生”。该平台载有电视摄像机、激光指示器、热成像仪和无线电探测器等侦察设备,是一种性能先进、机动灵活的典型空中光电侦察系统。该平台采用复合材料,机体最大直径0.64 m,动力为WTS-34涡轮发动机,功率为37.3 kW。两副采用Kevlar材料制成的三叶对旋转刚性旋翼装在腰部,为其提供升力和姿态控制力^[11-15]。

此外,美国还在大力发展气球载红外告警系统、球载激光武器中继镜,以及各种球载光电侦察系统等。图1所示为俄罗斯系留气球外形情况。



图1 典型系留气球外形

2 升空红外侦察探测系统特点与功能

升空红外侦察探测系统可以系留气球为首装平台,即将红外告警/定位系统升高到距离地面几十至几百米的空中,对几十公里半径以内的巡航导弹和飞机等目标实施全向红外告警、被动测距与预警探测,以此为地面防空电子对抗体系或对抗装备实施电子干扰与武器拦截提供情报支援。该系统所承担的任务包括:战场威胁实时告警、目标位置引导,以及战况监测^[16-19]。该系统在不同作战阶段可承担不同作战任务。

战前,可作为地面防空电子对抗装备中的一种值班型红外侦察探测系统,重点用于监视重点方向或空域可能出现的异常空情,为防空电子对抗系统战前准备提供光电对抗值班情报支援。

战时,可作为整个防空电子对抗侦察体系中的一个组成部分,重点用于监视中低空来袭目标,为地面对抗手段的运用提供实时红外告警、目标引导与指示信息。

平时,可为地面目标反空中侦察红外伪装与防护效果的评估提供必要的红外成像监测手段与检测数据。

升空红外侦察探测系统通常由系留气球和红外侦察探测载荷(图2)两部分组成。

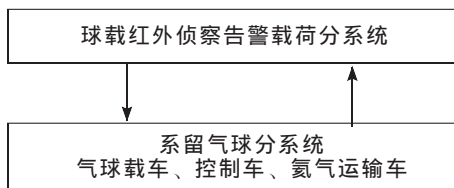


图2 系留球红外侦察告警系统构成示意图

其中,“系留气球分系统”由气球载车、控制车和氦气运输车组成。主要功能:为球载设备提供升空平台和载荷稳定平台;对球体升降与载荷空中状态实施控制;为球载设备提供电源,或通过电缆向载荷送电。

球载红外侦察告警载荷通常由红外探测器组

件、光学接收器、俯仰大视场快速搜索器、方位搜索稳定平台、告警/定位信息预处理器、GPS接收机、信息输入/输出接口、地面目标信息综合处理器(也可装在球体控制车),以及配套等设备组成。主要功能为:对来袭红外目标实施全向搜索、告警定位(精确角度与概率距离)、威胁等级判别,以及显示与传来袭目标的图像与数据信息。

为获得对红外目标的被动测角与概略测距能力,及尽可能扩大搜索视场与降低虚警,可采用一种新型单站红外被动定位技术,即基于三角交汇定位方法,将单站双红外探测器在探测的俯仰方向上对目标进行空间交会,以此实现对目标的概略测距;同时还可采用俯仰全向扫描镜配合探测器组件进行俯仰空间大视场搜索,并与方位承载转台相配合,完成全空域的目标搜索与定位。

GPS接收机可为确定系留气球平台自身所在的位置提供实时基准信息,并结合方位搜索平台给出的角度数据,对获取目标的定位数据进行修正。

信息输入/输出接口可将球上设备所侦察到的信息实时发送给地面目标信息综合处理器,对探测信息进行综合处理、目标识别与威胁等级判别。利用地面站可以有人参与的优势,可依据传送回来的目标红外图像与位置信息进行进一步的目标识别,以提高整个系统的探测概率与降低虚警率。

3 升空平台作战使用设想

红外升空侦察系统的主要用途之一是对巡航导弹的探测,下面就以此为例,对系留球载红外预警系统作战使用问题进行分析。

3.1 升空高度选择

为尽可能提高升空红外系统对巡航导弹的探测概率和降低虚警率,应设法降低地物背景对探测系统可能带来的干扰,由此需恰当设计红外侦察系统的升空高度。其相干因素主要包括:

3.1.1 目标飞行高度

目前,绝大多数以亚音速飞行的巡航导弹的典

型飞行高度在 15~300 m 范围内, 如 Block-3 的最高飞行高度为 150 m。探测器所在高度与通视距离的关系可由下式确定:

$$R=4.1(\sqrt{H_1}+\sqrt{H_2}) \quad (1)$$

其中, R 为视距, 单位 km; H_1 为侦察设备所在高度, 单位 m; H_2 为被侦察目标高度, 单位 m。

若气球高度选择在 20~800 m, 即 $H_1=20\sim 800$ m; 巡航导弹处于低高度飞行状态, 如 5~15 m, 则 $H_2=5\sim 15$ m, 代入 (1) 式可计算得到不同升空高度下红外探测系统的通视距离, 如表 1、表 2 所示。

表1 最大通视距离 (目标高度 $H_2=15$ m)

平台升高度 H_1 (m)	20	50	100	200	400	600	800
通视距离 R (km)	34.2	44.8	56.8	73.8	97.8	116.2	131.8

表2 最大通视距离 (目标高度 $H_2=5$ m)

平台升高度 H_1 (m)	20	50	100	200	400	600	800
通视距离 R (km)	27.4	38	50	67	91	109	125

由表 1、表 2 可见, 若仅从地形通视条件分析, 只要将侦察设备架高 20 m 以上就可对 27 km 以远的目标实施通视探测。但在实际应用中, 如果仍是在车载平台条件下, 要想将侦察设备升高到距地面 20 m, 实现起来并非易事。而若要探测更远距离目标, 显然就非地面设备所能了。因此, 为有利于对巡航导弹等超低空目标的远程探测, 最好的办法就是将探测系统升空。

3.1.2 气球升空高度

为尽可能抑制地物背景进入升空红外探测系统的视场, 最好的办法就是让探测系统与被探测目标基本处于同一高度, 从而可以水平探测方式探测来袭目标。如将系留气球升高到 200 m, 被探测巡航导弹的飞行高度为 150 m, 则在 30 km 距离上探测系统的搜索视场就可控制在 1° 以内; 即使巡航导弹飞行高度降到 15 m, 其下视角度的扩展也很少。因此, 升空平台的高度选择在 200 m 左右, 对探测超低空飞行巡航导弹来说是比较合适的。

3.1.3 球载设备重量

球载设备的侦察能力通常在很大程度上取决于

升空平台的承载能力与供电能力。一般来说, 气球升空高度不同, 承载能力也有所不同。通常升空高度越高, 有效载荷重量越低。如某型系留气球, 在 200 m 高度时的有效载荷重量最大, 可达 200 kg; 400 m 高度时则降为 160 kg; 到了 800 m 高度, 就只剩 110 kg 了。因此, 如果将升空有效载荷的重量控制在 100 kg 以内, 就可保证在 200~800 m 高度范围内正常工作。

3.2 截获范围分析

红外侦察探测系统的最大探测距离由下述距离方程计算:

$$R=\left[\frac{\pi\delta\tau_a\tau_0JD^2D^*}{4\sqrt{A_d\Delta f}(SNR)}\right]^{1/2} \quad (2)$$

其中, R 为探测器对目标斜距, km; δ 为信号峰值因子, 0.67; τ_a 为大气透过率, 为计算简单起见, 设 0.1 和 0.2 两种情况。其中, 0.1 对应的是从空中水平/向下方向探测巡航导弹和空地导弹; 0.2 对应从空中仰角 $>20^\circ$ 方向探测 10 km 以上高度的空地导弹和战斗机。 τ_0 为光学系统透过率, 取值 0.8; D_0 为探测系统口径, 取为 7.5 cm; D^* 为波段探测率, 对中波与长波探测器分别为: 6×10^{10} $\text{cmW}^{-1}\text{Hz}^{1/2}$ ($7.7\sim 10.3$) μm ; 1×10^{10} $\text{cmW}^{-1}\text{Hz}^{1/2}$ ($3.7\sim 4.8$) μm ; A_d 为探测器光敏面面积, 为 7×10^{-6} cm^2 ; Δf 为信号带宽, 20 kHz; SNR 为探测所需信噪比, 取值为 4; J 为目标红外辐射强度, 典型取值如表 3 所示。

表3 典型目标红外辐射强度

目标类型	长波 (7.7~10.3) μm	中波 (3.7~4.8) μm
战斗机	100 W/sr	65 W/sr
空地导弹	45 W/sr	35 W/sr
巡航导弹	(缺少数据)	几个 W/sr

将表 3 取值代入距离计算公示, 得到升空红外侦察探测系统最大作用距离为:

$$R=\left[\frac{\pi\delta\tau_0}{4\sqrt{A_d\Delta f}(SNR)}\right]^{1/2}[JD^*\tau_a]^{1/2}D_0=0.53[JD^*\tau_a]^{1/2}D_0=4[JD^*\tau_a]^{1/2} \quad (3)$$

由上式可见, 在探测系统的技术体制与光学接收系统相关参数确定之后, 对目标的探测距离主要

与目标的红外辐射强度、探测器灵敏度以及大气透过率的平方根成正比。表4给出了红外侦察探测系统工作在几百米高度时,在水平探测与向上探测两种典型情况下的最大探测距离(大气透过率分别取为0.1和0.2)。

表4 典型探测距离分析

目标类型	长波侦察距离 (km)		中波侦察距离 (km)	
大气透过率	0.1	0.2	0.1	0.2
战斗机	30.9	42.8	32.2	45.1
空地导弹	20.7	28.9	23.6	33.1
巡航导弹			~10	>10

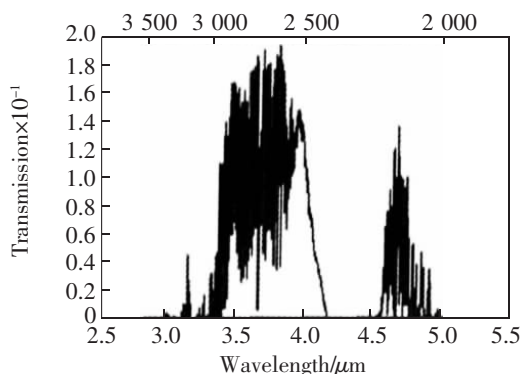
由表4所示距离结果可以看出,在大气透过率为0.1和0.2两种典型情况下,无论是采用长波还是中波红外探测系统,对空中飞机的探测距离均大于30 km;对空地导弹的探测距离一般为20~30 km;而对巡航导弹的中波红外探测距离则仅有10 km左右。

3.3 工作波段选择

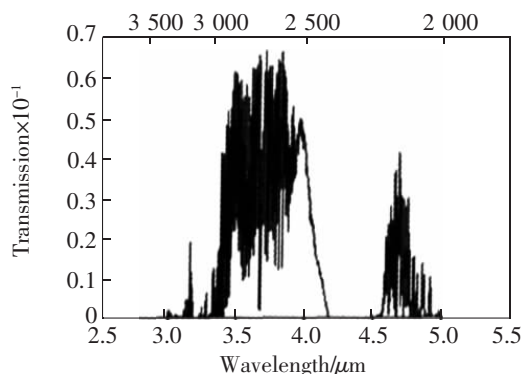
为对包括超音速飞机、导弹和亚音速巡航导弹等不同类型的目标均能实施有效探测,应尽可能综合运用长波与中波红外探测器各自的优势,以提高探测距离和降低虚警率。例如,长波波段对低温辐射源具有较高的探测灵敏度,适合对迎头来袭和温度较低的目标进行探测,但该波段容易受地物杂波的影响,因此,单独使用时虚警率较高;而中波波段一般受云、鸟等虚假目标的干扰较小,天空背景辐射强度在此波段较低,而且比较稳定,但对红外隐身目标探测,通常中波不如长波红外更为有效。

实际使用时,还要考虑不同波段、不同高度和能见度条件下的大气透过情况。图3给出了能见度分别为5 km和23 km(较差和较好大气条件),平台升空高度分别为0、200、800 m,探测距离20 km的水平大气透过情况。

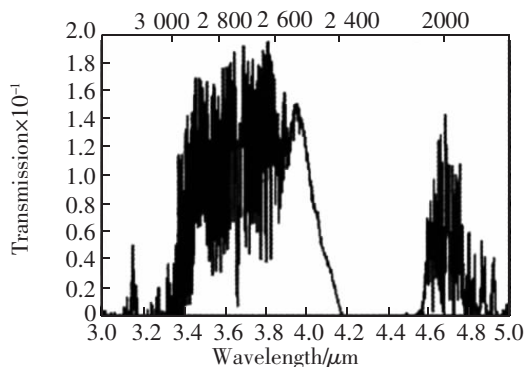
对于需要由两套探测器构成的空间交汇定位系



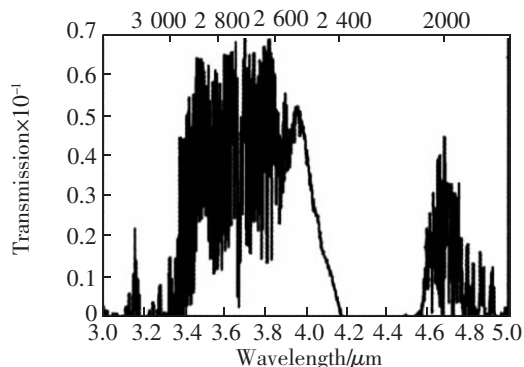
水平20 km; 地面能见度5 km; 观测高度0 m



水平20 km; 地面能见度23 km; 观测高度0 m

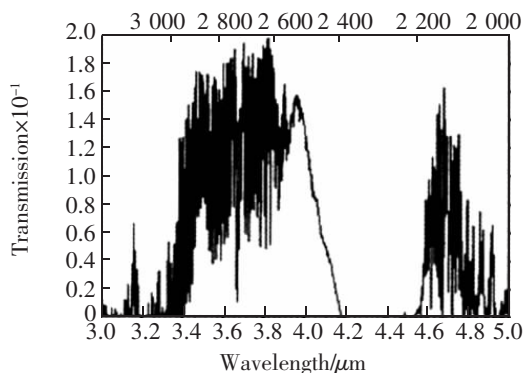
(a) 3~5 μm 波段, 高度0 m, 水平20 km大气透过率情况

水平20 km; 地面能见度5 km; 观测高度200 m

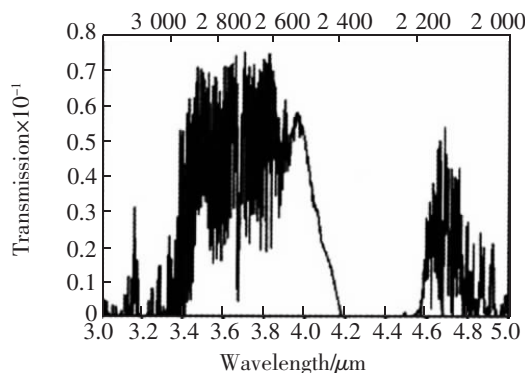


水平20 km; 地面能见度23 km; 观测高度200 m

(b) 3~5 μm 波段, 高度200 m, 水平20 km大气透过率情况

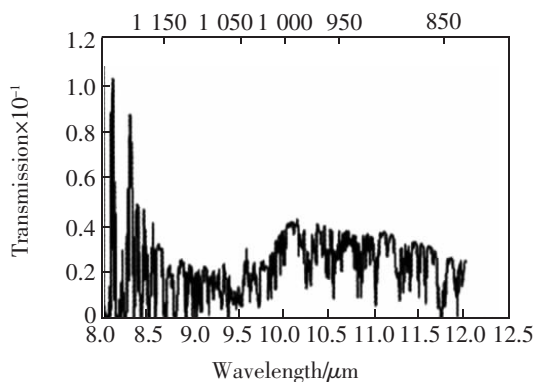


水平20 km; 地面能见度5 km; 观测高度800 m

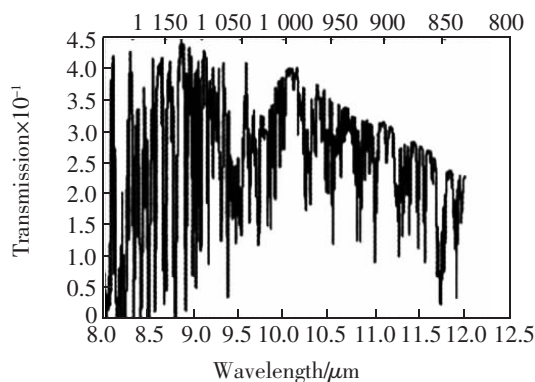


水平20 km; 地面能见度23 km; 观测高度800 m

(c) 3~5 μm 波段, 高度200 m, 水平20 km大气透过率情况



水平20 km; 地面能见度5 km; 观测高度200 m



水平20 km; 地面能见度23 km; 观测高度200 m

(d) 8~12 μm 波段, 高度200 m, 水平20 km大气透过率情况

图3 不同波段、不同亮度和能见度条件下的大气透过率情况

统来说, 两套红外探测器最好选择为同一波段的器件。因为只有采用同一波段的两个性能完全一致的红外探测器系统, 方有可能在同一时刻和同一距离上发现目标。但实际上, 若综合考虑目标、大气等各种因素后, 发现在探测距离为 20~30 km 范围内, 采用中波与长波红外探测器对于同一类飞行目标的探测距离值相差并不大。所以, 对于以告警发现为主、测距为辅的红外探测系统来说, 采用两个波段的探测器均可。

4 结 论

综上所述, 以系留球为典型平台的升空红外侦察探测技术, 不仅将成为未来高技术局部战争中对远程、超低空和隐身目标实施探测的一种有效手段, 同时也是将红外侦察告警技术从地面向升空平台上推动的一个重要发展契机。可以预计, 随着现代战争对防空反导需求的日益迫切, 升空红外探测技术必将会更加广泛在军事领域得到发展与应用。

参考文献

- [1] 刘兆军, 周峰, 李瑜. 航天光学遥感器对红外探测器的需求分析[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(1): 25-29.
- [2] 刘志春, 袁文, 苏震. 光电侦察告警技术的装备与发展[J]. 中国学术期刊文摘, 2009(4): 7-7.

- [3] 卢科青, 王文, 陈子辰. 点激光测头激光束方向标定[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(4): 880-886.
- [4] 陈健, 薛乐堂. 舰载红外告警分系统的告警距离研究[J]. 光机电信息, 2010, 27(10): 55-58.
- [5] 郑猛, 冯其波, 邵双运, 等. CR 扫描仪激光扫描光学系统的设计[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(1): 21-28.
- [6] 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.
- [7] 白宏刚, 金英姬. 红外技术在军事上的应用[J]. 武警工程学院学报, 2008, 24(6): 5-7.
- [8] 徐锦. 光电侦察告警技术的现状与发展趋势[J]. 电光系统, 2006(3): 28-32.
- [9] 黄常钊, 张树群, 姚立军, 等. 近红外探测器数据采集系统的设计[J]. 应用光学, 2011, 32(1): 138-143.
- [10] 张晓琳, 唐文彦, 孙和义. 水下声信号的激光干涉测量[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(4): 809-815.
- [11] 梁敏华, 吴志勇, 陈涛. 采用最大灰度梯度法实现经纬仪自动调焦控制[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(12): 3016-3021.
- [12] 何锡君, 陈华础, 陈晓东. 一种新型红外信号处理平台的构建及应用[J]. 光电技术应用, 2010, 25(5): 15-19.
- [13] 张坤华, 杨烜. 应用聚类和分形实现复杂背景下的扩展目标分割[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(7): 1665-1671.
- [14] 郭劲, 苗用新, 林洪沂, 等. 机载定向红外对抗激光指示系统控制设计[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(2): 341-349.
- [15] 贾方秀, 丁振良. 激光测距仪的脉冲电流供电温度控制系统[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(9): 2128-2135.
- [16] 章大勇, 吴文启, 吴美平. 机载激光雷达系统标定方法[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(11): 2806-2813.
- [17] 宋建辉, 袁峰, 丁振良. 脉冲激光测距中高精度时间间隔的测量[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(5): 1046-1050.
- [18] 贾方秀, 丁振良, 袁峰. 相位法激光测距接收系统[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(10): 2377-2384.
- [19] 路阳. 激光告警系统的发展现状与问题[J]. 现代防御技术, 2009(3): 89-93.

作者简介: 陈健 (1981-), 男, 汉族, 吉林长春人, 硕士, 助理研究员, 2007年于吉林大学获得硕士学位, 主要从事高精度快速数字伺服系统的研究。E-mail: chenjian4500@163.com