

文章编号: 1002-2082(2004)02-0036-04

# 红外标定理论计算与应用

郝继平, 杜成功, 黄平华

(92941 部队 94 分队, 辽宁葫芦岛, 125001)

**摘要:** 对于海上红外跟踪、搜索设备作用距离能力及距离和角度精度标定检查的目标建设, 虽然为压制背景噪声、排除景物影响而采用过多种方法, 但这些方法均不能满足海上背景的实际环境条件。介绍了红外标定理论计算方法, 借助方位、仰角及距离精度标定、作用距离能力的检查工程应用, 充分证明该方案科学合理, 简便易行。该方案对弥补外场标定设备同步建设不足、解决海上红外探测设备外场标定的难题以及检查该类装备的标定具有一定的指导意义。

**关键词:** 红外; 目标特性; 标定

**中图分类号:** TN219-39

**文献标识码:**

## Calculation And Application of Infrared Demarcating Theory

HAO Ji-ping, DU Cheng-gong, HUANG Ping-hua

(94 Element, 92941 Unit)

**Abstract:** Though several methods has been used to suppress the background noise and eliminate the scene influence for the effective ranging capability and angular accuracy demarcating detection, these methods still can not meet the practical requirement for the target at sea. The calculating method of the infrared demarcating theory is defined. Through validation, this method is proved to be reasonable and convenient for application. In order to resolve the difficulty of infrared demarcation and remedy the equipment deficiency, this method is proposed.

**Keywords:** infrared; target characteristic; demarcation

### 引言

红外跟踪设备已广泛应用于海上, 红外搜索设备也逐渐投入使用。对于标定检查: 一是缺少精确的理论计算, 二是缺少切实可行的方法。

对于海上红外跟踪、搜索设备作用距离能力及距离和角度精度标定检查的目标建设, 虽然为压制背景噪声、排除景物影响而采用过多种方法, 如平地立杆及在山顶、岸边建标, 但这些方法均不能满足海上背景的实际环境条件。因为在海上打桩建标十分昂贵且面积过大, 因此难以满足使用要求。提供热源目标的方法有电加热、燃气加热和红外波段激光照射加热的方法, 但在经济实用和实际操作方面却存在较大的距离。

在综合多次实验的基础上, 本文提出了一种红外标定理论计算的方法, 下面给出理论计算和实施过程。

## 1 红外目标外场标定理论计算过程

### 1.1 确定要解决的主要问题

通常, 理论要求红外目标源为孤立目标, 辐射强度可调, 空间位置已知或运动航迹已知。在海上条件下, 确定选用木船承载红外目标源并同时使用线控气球提升红外目标源, 由相应的设备测角测距, 这样就较好地解决了位置精度和孤立的问题。难点集中在作用距离能力, 即强度测量调节的问题上。

5 W/Sr 孤立红外目标的建立。假设红外目标面积为  $0.2 \text{ m}^2$ , 表面实际温度控制为  $80 \sim 120 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 假设大气传输只影响探测距离, 而对精度影响较小, 可忽略不计, 试算在一定距离的情况下, 哪一个温度的目标满足目标与背景的红外辐射差要求。如果要求目标高出海空背景的背景强度分别为  $5 \text{ W/Sr}$ ,  $10 \text{ W/Sr}$ ,  $40 \text{ W/Sr}$ ; 面积为  $0.2 \text{ m}^2$ , 发射系数为  $0.74$ , 背景温度为  $6 \text{ }^\circ\text{C}$ , 发射系数为  $0.8$ , 同样也可以逆向运算, 求得目标的表面温度。

#### 1.1.1 红外标定目标相关参数

温度:

收稿日期: 2003-11-18

作者简介: 郝继平(1956-), 男, 高级工程师, 主要从事海上光电跟踪、搜索设备的鉴定试验和有关科研工作。

$T_1=120$  C=393 K;  
 $T_2=80$  C=353 K;  
 $T_3=90$  C=363 K;  
 $T_4=100$  C=373 K;  
 $T_5=110$  C=383 K

发射系数(氧化铁): $E=0.74$

面积: $S=0.2$  m<sup>2</sup>

1.1.2 海空背景

温度:

$T_2=6$  C=279 K;

发射系数:  $E=0.8$

理论计算涉及到5个参数:目标面积和温度、材料的发射系数、背景温度及背景发射系数。

1.2 计算红外辐射强度差

物体光谱辐射出射度峰值波长 $\lambda_{mi}$ 的计算公式为

$$\lambda_{mi} = 2897.8/T \tag{1}$$

$$\lambda_{m1} = 2897.8/393 = 7.3735 \mu\text{m}$$

$$\lambda_{m2} = 2897.8/297 = 10.3846 \mu\text{m}$$

$$\lambda_{m0} = 2897.8/353 = 8.2091 \mu\text{m}$$

$$\lambda_{m3} = 2897.8/363 = 7.9829 \mu\text{m}$$

$$\lambda_{m4} = 2897.8/373 = 7.7689 \mu\text{m}$$

$$\lambda_{m5} = 2897.8/383 = 7.5661 \mu\text{m}$$

自变量数集 $X_{ij}$ 的计算:

计算 $\lambda$ 在7.7~10.3  $\mu\text{m}$ 区间, $\Delta\lambda=1 \mu\text{m}$ 的自变量数集 $X_{ij}=\lambda_j/\lambda_{mi}$ (其中背景温度 $T_2=6$  C=279 K)计算结果见表1。

表1 自变量数集计算结果

Table 1 Computed results of independent variable data set

数值/ $\lambda_{mi}$	7	8	9	10	11	7.7	10.3
$X_{2j}(10.3846)$	0.6741	0.7704	0.8667	0.9630	1.0593	0.7415	0.9919
$Z(X_{2j})$	0.0622	0.1123	0.1598	0.2239	0.2894	0.0908	0.2500
$X_{0j}(8.2091)$	0.8527	0.9745	1.0963	1.2182	1.3400	0.9380	1.2547
$Z(X_{0j})$	0.1598	0.2369	0.3155	0.3902	0.4593	0.2108	0.4140
$X_{3j}(7.9829)$	0.8769	1.0021	1.1274	1.2527	1.3779	0.9646	1.2903
$Z(X_{3j})$	0.1723	0.2500	0.3283	0.4140	0.4807	0.2239	0.4371
$X_{4j}(7.7689)$	0.9010	1.0297	1.1585	1.2872	1.4159	0.9911	1.3258
$Z(X_{4j})$	0.1850	0.2632	0.3534	0.3781	0.5013	0.2500	0.4483
$X_{5j}(7.5661)$	0.9252	1.0573	1.1895	1.3217	1.4539	1.0177	1.3613
$Z(X_{5j})$	0.1978	0.2894	0.3658	0.4483	0.5212	0.2632	0.4701
$X_{ij}(7.3735)$	0.9493	1.0850	1.2206	1.3562	1.4918	1.0443	1.3969
$Z(X_{ij})$	0.2108	0.3025	0.3902	0.4701	0.5403	0.2763	0.4911

找出函数 $Z(X_{ij})$ 的近似值,填入上表,则7.7~

10.3区间的计算结果如下:

$$Z(X_{21})=0.0908, Z(X_{22})=0.2500;$$

$$Z(X_{01})=0.2108, Z(X_{02})=0.4140;$$

$$Z(X_{31})=0.2239, Z(X_{32})=0.4371;$$

$$Z(X_{41})=0.2500, Z(X_{42})=0.4483;$$

$$Z(X_{51})=0.2632, Z(X_{52})=0.4701;$$

$$Z(X_{11})=0.2763, Z(X_{12})=0.4911.$$

计算绝对黑体总(积分)辐射出射度 $M_{\infty i}(T)$ :

$$M_{\infty i}(T) = \int_0^{\infty} M_{\infty}(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4 \tag{2}$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-12} (\text{Wcm}^{-2}\text{K}^{-4}) \tag{3}$$

$$M_{\infty 2}(T=279 \text{ K}) = \sigma T^4 = 0.03436 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{\infty 0}(T=253 \text{ K}) = 0.08804 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{\infty 3}(T=363 \text{ K}) = 0.09845 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{\infty 4}(T=373 \text{ K}) = 0.10975 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{\infty 5}(T=383 \text{ K}) = 0.12201 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{\infty 1}(T=393 \text{ K}) = 0.13525 \text{ Wcm}^{-2}.$$

计算区域积分辐射出射度用 $M_{\lambda_1 \sim \lambda_2}$ :

$$M_{\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T) = \sigma T^4 [Z(x_{j2}) - Z(x_{j1})] \tag{4}$$

$$M_{\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_2) = 0.03436 [0.2500 - 0.0908] = 0.00547 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_0) = 0.08804 [0.4140 - 0.2108] = 0.01798 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_3) = 0.09845 [0.4371 - 0.2239] = 0.02099 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_4) = 0.10975 [0.4483 - 0.2500] = 0.02176 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_5) = 0.12201 [0.4701 - 0.2632] = 0.02524 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_1) = 0.13525 [0.4911 - 0.2763] = 0.02905 \text{ Wcm}^{-2};$$

计算灰体目标和背景的积分辐射出射度 $M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}$ :

$$M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_i) = \epsilon \sigma T_i^4 [Z(x_{j2}) - Z(x_{j1})] \tag{5}$$

$$M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_2) = 0.8 \times 0.03436 [0.2500 - 0.0908] = 0.004376 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_0) = 0.74 \times 0.08804 [0.4140 - 0.2108] = 0.01324 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_3) = 0.74 \times 0.09845 [0.4371 - 0.2239] = 0.01553 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_4) = 0.74 \times 0.10975 [0.4483 - 0.2500] = 0.01610 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_5) = 0.74 \times 0.12201 [0.4701 - 0.2632] = 0.01868 \text{ Wcm}^{-2};$$

$$M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_1) = 0.74 \times 0.13525 [0.4911 - 0.2763] = 0.02150 \text{ Wcm}^{-2}.$$

计算目标与背景辐射出射度差值 $\Delta Mc$ :

$$\Delta M_c = M_{c\lambda_1-\lambda_2}(\lambda_1 - \lambda_2, T_1) - M_{c\lambda_1-\lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_2) \quad (6)$$

$$\Delta M_{c0-2} = 0.013\ 24\ \text{Wcm}^{-2} - 0.004\ 376\ \text{Wcm}^{-2}$$

$$= 0.008\ 864\ \text{Wcm}^{-2};$$

$$\Delta M_{c3-2} = 0.015\ 53\ \text{Wcm}^{-2} - 0.004\ 376\ \text{Wcm}^{-2}$$

$$= 0.011\ 15\ \text{Wcm}^{-2};$$

$$\Delta M_{c4-2} = 0.016\ 10\ \text{Wcm}^{-2} - 0.004\ 376\ \text{Wcm}^{-2}$$

$$= 0.011\ 72\ \text{Wcm}^{-2};$$

$$\Delta M_{c5-2} = 0.018\ 68\ \text{Wcm}^{-2} - 0.004\ 376\ \text{Wcm}^{-2}$$

$$= 0.014\ 30\ \text{Wcm}^{-2};$$

$$\Delta M_{c1-2} = 0.021\ 50\ \text{Wcm}^{-2} - 0.004\ 376\ \text{Wcm}^{-2}$$

$$= 0.017\ 12\ \text{Wcm}^{-2}.$$

计算目标与背景辐射强度差值  $\Delta J$ :

$$\Delta J = (\Delta M_c \times S) / \pi \quad (7)$$

$$\Delta J_{0-2} = 0.008\ 864\ \text{Wcm}^{-2} \times 0.2\text{m}^2 / \pi$$

$$= 5.64\ \text{W WSr}^{-1};$$

$$\Delta J_{3-2} = 0.011\ 15\ \text{Wcm}^{-2} \times 0.2\text{m}^2 / \pi$$

$$= 7.10\ \text{W WSr}^{-1};$$

$$\Delta J_{4-2} = 0.011\ 72\ \text{Wcm}^{-2} \times 0.2\text{m}^2 / \pi$$

$$= 7.46\ \text{W WSr}^{-1};$$

$$\Delta J_{5-2} = 0.014\ 30\ \text{Wcm}^{-2} \times 0.2\text{m}^2 / \pi$$

$$= 9.10\ \text{W WSr}^{-1};$$

$$\Delta J_{1-2} = 0.017\ 12\ \text{Wcm}^{-2} \times 0.2\text{m}^2 / \pi$$

$$= 10.89\ \text{W WSr}^{-1}.$$

### 1.3 理论计算结果

相对于海空背景对于面积为  $0.2\ \text{m}^2$ , 表面温度为  $80 \sim 120\ \text{C}$  的红外目标, 本设备超出的辐射强度分别为  $5.64, 7.10, 7.46, 9.10, 10.89(\text{WSr}^{-1})$ 。

要求建立大于  $20\ \text{WSr}^{-1}$  时, 需要调节的量为

$$\Delta J = (\Delta M_c \times S) / \pi \quad (7)$$

表面温度  $120\ \text{C}$  的红外热目标, 面积为  $0.2\ \text{m}^2$ , 辐射强度为  $10.89\ \text{W}$ , 截面积为  $0.4\ \text{m}^2$  时, 辐射强度  $(10.89/2) \times 4 = 21.78\ \text{W}$ , 即调节截面积为  $0.4\ \text{m}^2$ , 调节表面温度为  $120\ \text{C}$  的红外热目标。

对于红外设备的作用距离标定和方位、高低角度的标定, 在一定距离处, 背景为海天的条件下, 采用表面为氧化铁材料, 截面积为  $0.4\ \text{m}^2$ , 表面温度为  $120\ \text{C}$  的红外热目标。目标的高度满足通视条件, 其它海浪、阳光光线等条件的影 响不大, 可不作特别要求。

由于一定距离  $0.4\ \text{m}^2$  目标的线量为  $0.7\ \text{m}$  左右, 它是很小的点目标。建标后将点目标的高度和大地坐标注明, 便可以方便地用于红外设备的距离、方位和 高低角度的精度检查标定。在确定目标  $5\ \text{WSr}^{-1}$  的强度和确定距离的条件下, 用此法可判定设备的探

测能力是否满足要求。

## 2 海空背景 $0.1\ \text{m}^2$ 和 $0.4\ \text{m}^2$ 目标标定的应用

为了取两个极端的情况, 选了一个较小的目标和一个较大的目标进行分析研究, 以便完成海上外场标定距离、方位和高低角度精度及检查作用距离能力。

已知条件: 红外标定目标面积为  $0.1\ \text{m}^2$ , 距海平面高度为  $11\ \text{m}$ , 目标距离为  $12.4\ \text{km}$  时, 实际温度为  $137.5\ \text{C}$ 。红外标定目标面积为  $0.4\ \text{m}^2$ , 距海平面高度为  $2\ \text{m}$  时, 目标实际温度为  $300\ \text{C}$ 。如果设备计量或测试精度要求较高, 则必须保证实时测量。

距离为  $12.4\ \text{km}$ , 背景温度为  $-1\ \text{C}$ 、背景湿度  $75\%$ 。冬季某日  $13$  时  $20$  分岸上能见度  $20 \sim 25\ \text{km}$ , 湿度  $40\%$ , 气温  $-5\ \text{C} \sim -3\ \text{C}$ , 气压  $1\ 031.6$ , 东北  $4 \sim 5$  级, 晴渐多云, 海水温度  $1.2\ \text{C} \sim 1.6\ \text{C}$ , 地面土壤温度  $-3.2\ \text{C} \sim -3.5\ \text{C}$ , 岩石温度  $-4.8\ \text{C} \sim -5.2\ \text{C}$ 。

目标面积  $S = 0.1\ \text{m}^2$ , 温度  $T_{0.1} = 137.5\ \text{C} = 410.5\ \text{K}$ 。目标面积  $S = 0.4\ \text{m}^2$ , 温度  $T_{0.4} = 300\ \text{C} = 573\ \text{K}$ 。目标发射系数(氧化铁)  $E = 0.74$ 。海空背景温度  $T_2 = -1\ \text{C} = 272\ \text{K}$ , 背景发射系数  $E = 0.8$ 。

用(1)式计算出相应于物体光谱辐射出射度峰值波长  $\lambda_m$  分别为

$$\lambda_{m0.1} = 2\ 897.8 / 410.5\ \text{K} = 7.059\ 2;$$

$$\lambda_{m0.4} = 2\ 897.8 / 573\ \text{K} = 5.057\ 2;$$

$$\lambda_{m6} = 2\ 897.8 / 272\ \text{K} = 10.653\ 7.$$

计算出  $\lambda$  在  $7.7 \sim 10.3\ \mu\text{m}$  时自变量数集的  $X_{ij} = \lambda_j / \lambda_{mi}$  (见表 2)。

表 2 自变量数集  $X_{ij} = \lambda_j / \lambda_{mi}$  的计算结果

Table 2 Computed results of independent variable data set

数值/ $\lambda_m$	7.7	10.3
$X_{0.1}(7.059\ 2)$	1.090 8	1.459 1
$Z(X_{0.1})$	0.315 5	0.521 2
$X_{0.4}(5.057\ 2)$	1.522 6	2.036 7
$Z(X_{0.4})$	0.540 3	0.719 6
$X_6(10.653\ 7)$	0.722 8	0.966 8
$Z(X_6)$	0.080 7	0.223 9

由表 2 可知函数  $Z(X_{ij})$  的近似值为

$$Z(X_{0.1}) = 0.315\ 5$$

$$Z(X_{0.4}) = 0.521\ 2$$

$$Z(X_{0.4}) = 0.540\ 3$$

$$Z(X_{0.4}) = 0.719\ 6$$

$$Z(X_6) = 0.080\ 7$$

$$Z(X_b)=0.2239$$

利用(2)式和(3)式计算绝对黑体总(积体)辐射出射度值  $M_{\infty}(T)$ , 其结果为

$$M_{\infty 0.1}(T=410.5\text{ K})=0.16101\text{ Wcm}^{-2}$$

$$M_{\infty 0.4}(T=573\text{ K})=0.61123\text{ Wcm}^{-2}$$

$$M_{\infty b}(T=272\text{ K})=0.031035\text{ Wcm}^{-2}$$

引用(4)式计算波段  $\lambda_1 \sim \lambda_2$  区域积分辐射出射度, 其结果为

$$M_{\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_{0.1})=0.16101 \times (0.5212 - 0.3155) \\ =0.0331\text{ Wcm}^{-2}$$

$$M_{\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_{0.4})=0.61123 \times (0.7196 - 0.5403) \\ =0.1096\text{ Wcm}^{-2}$$

$$M_{\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_b)=0.031035 \times (0.2239 - 0.0807) \\ =0.0044\text{ Wcm}^{-2}$$

引用(5)式计算灰体目标和背景的积分辐射出射度  $M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T)$ , 其结果为

$$M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_{0.1})=0.74 \times 0.0331\text{ Wcm}^{-2} \\ =0.0245\text{ Wcm}^{-2}$$

$$M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_{0.4})=0.74 \times 0.1096\text{ Wcm}^{-2} \\ =0.0811\text{ Wcm}^{-2}$$

$$M_{c\lambda_1 \sim \lambda_2}(\lambda_1 \sim \lambda_2, T_b)=0.8 \times 0.0044\text{ Wcm}^{-2} \\ =0.0036\text{ Wcm}^{-2}$$

引用(6)式计算目标超出背景的辐射强度  $\Delta M_c$ , 其结果为

$$\Delta M_{c0.1}=0.0245\text{ Wcm}^{-2} - 0.0036\text{ Wcm}^{-2} \\ =0.0209\text{ Wcm}^{-2}$$

$$\Delta M_{c0.4}=0.0811\text{ Wcm}^{-2} - 0.0036\text{ Wcm}^{-2} \\ =0.0775\text{ Wcm}^{-2}$$

引用(7)式计算  $\Delta J$ , 其结果为

$$\Delta J_{0.1}=0.0209\text{ Wcm}^{-2} \times 0.1\text{ m}^2/\pi \\ =6.6527\text{ W WSr}^{-1}$$

$$\Delta J_{0.4}=0.0775\text{ Wcm}^{-2} \times 0.4\text{ m}^2/\pi \\ =98.676\text{ W WSr}^{-1}$$

由上可看出面积为  $0.1\text{ m}^2$  和  $0.4\text{ m}^2$  红外标定目标超出海空背景的红外辐射强度分别是  $6.7\text{ W WSr}^{-1}$  和  $98.7\text{ W WSr}^{-1}$ , 满足距离和角度精度标定检查的要求。被试设备对较远距离上的两个目标均能正常跟踪, 表明设备技术状态良好。

### 3 现场验证结论及靶标设计

#### 3.1 靶标设计

红外设备标定目标的制作。红外固定目标为氧化铁材料制作的球壳形状, 其内部结构便于碳火燃烧。大目标对景物和气象可不作要求, 可放置在陆上作为固定标。海上活动目标放置在木船上, 较低目标用铁架支撑, 高处用线控直径为  $3 \sim 4\text{ m}$  的气球提升。对由近到远运动的木船同时进行真值测量和被试设备跟踪测量。在指定距离处, 背景为海空的条件下, 采用表面为氧化铁材料制作的截面积为  $0.4\text{ m}^2$ , 表面温度为  $120\text{ }^\circ\text{C}$  的红外热目标(目标的高度无特别要求, 通视即可)。

#### 3.2 标定检查

红外设备的精度标定检查。在一定距离处, 目标的线量是  $0.7\text{ m}$  左右, 它是很小的点目标(在  $12\text{ km}$  以外, 约为  $0.05\text{ mrad}$  的张角或更小)。建标后, 将点目标的高度和大地坐标注明, 便可以方便地用于红外设备的距离、方位和高低角度的精度检查标定。

#### 3.3 作用距离能力检查

考虑到一定距离处  $5\text{ WSr}^{-1}$  的强度, 也可对设备的作用距离等效是否达到指标要求进行检查。实际检查中, 发现在探测极限距离的附近, 运动目标的高度、大气温度以及背景对提取目标有很大影响。为此, 事先应根据目标强度、气象和设备参数进行理论计算, 确定相应的距离段。一般要求选择目标的距离比理论值更远一些, 目标的辐射强度更小一点, 环境和气象条件稍严格些, 以确保设备探测能力大于指标要求。

外场使用本方案, 完成了方位、仰角和距离精度标定, 以及作用距离能力的检查, 掌握了设备技术状态, 圆满完成了设备动静态检查工作, 保障了后续任务的正常进行。

### 4 结束语

本文对相关的设备性能和使用性能作出了客观分析和评价, 并解决了海上外场红外标定检查的技术难题, 为完成科研与鉴定任务打下了坚实的基础。

#### 参考文献:

- [1] 徐南荣, 卞南华. 红外辐射与制导[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.
- [2] 杨臣华, 梅遂生, 林钧生, 林钧挺. 激光与红外技术手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1990.
- [3] 孙再龙. 红外与光电系统手册[M]. 天津: 航天工业集团公司 8358 所, 1999.