

# 防空导弹装备光学伪装效果评估

李佳坤, 李彦彬, 张海瑞

(空军工程大学防空反导学院, 陕西 西安 710051)

**摘要:**针对传统光学伪装效果评估因素的局限性,提出了一种综合评估防空导弹装备光学伪装效果的指标体系和模型。基于光学卫星侦察能力、目标伪装能力以及环境影响因素建立指标体系,通过组合赋权的灰色关联分析模型对防空导弹装备光学伪装效果进行综合评估,最后通过算例验证了该评估模型的有效性,对防空导弹装备伪装效果的检验及伪装措施的采取具有一定的参考价值。

**关键词:**防空导弹装备;光学伪装效果评估;组合赋权;灰色关联分析

**中图分类号:**E951.4 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2019.05.016

## Evaluation of optical camouflage effect of air defense missile equipment

LI Jia-kun, LI Yan-bin, ZHANG Hai-rui

(Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

**Abstract:** Aiming at the limitations of traditional optical camouflage effect evaluation factors, an index system and model for synthetically evaluating the optical camouflage effect of air defense missile equipment are proposed. The system is based on optical satellite reconnaissance capabilities, target camouflage capabilities, and environmental impact factors. The comprehensive evaluation of the optical camouflage effect of air defense missile equipment is carried out through a grey relational analysis model based on combined weighting. Finally, an example was used to verify the validity of the assessment model. It has a certain reference value for the inspection of camouflage effect and the adoption of camouflage measure.

**Key words:** air defense missile equipment; optical camouflage effect evaluation; comprehensive empowerment; grey relational analysis

### 1 引言

在现代化战争中,被发现就意味着摧毁。隐身伪装技术的广泛应用,使得作战双方的实力对比发生不确定性的变化,战局形式由此更加错综复杂。有效的伪装对于提高部队人员和装备的生存能力,保存部队战斗力和赢得战争具有极其重要的作用。

光学成像卫星技术成熟,图像直观,目标易于识别,因而在目前已经发射的军用卫星中,光学成像卫星占半数以上。光学成像卫星利用星载可见光相机、红外相机、多波段或高光谱相机获取地面目标的高分辨率图像信息<sup>[1-5]</sup>。可见光侦察图像是最为常见、直观、便捷的伪装效果评估凭证,如何评估防空导弹装备在可见光侦察下的伪装效果,具有较高的

研究价值。目前,对可见光侦察条件下的伪装效果评估通常只是单从某一方面来进行,没有全面考虑完全影响目标伪装效果的主要因素。因此文中通过综合考虑光学卫星侦察能力、目标伪装能力以及环境影响因素<sup>[6]</sup>,确立评估指标体系及模型。该模型采用熵值法与集值迭代对指标进行组合赋权,同时对灰色关联在目标光学伪装效果评估中的适用性予以说明,继而采用灰色关联分析模型对防空导弹装备伪装效果进行评估,并通过算例分析,验证了该评估模型的正确性。

## 2 伪装效果影响因素分析

防空导弹装备是敌方侦察的重点目标。目标伪装效果的影响因素众多,并不单取决于目标的伪装能力,从主要矛盾的观点和实际情况来看,可以由光学卫星侦察能力、目标伪装能力、环境影响因素共同表征<sup>[6]</sup>。

### 2.1 光学卫星侦察能力

光学卫星侦察能力是指光学成像卫星发现、识别、确认及详细描述目标的能力,它主要由卫星地面分辨率和卫星单次过境时间长短决定。

地面分辨率通常指光学图像中一个像素点对应的地面尺寸<sup>[7]</sup>,如美国 KH-12 卫星的全色相机地面分辨率可达 0.1 m,意味着地面上长、宽各为 0.1 m 的物体在 KH-12 所获的图像中仅仅显示一个点,这个点就是一个像素,它说明卫星发现了目标,但还不能判明目标的具体性质<sup>[8]</sup>。

卫星单次过境时间是指卫星单通过目标所在区域所用时间,对同一目标区域,单次过境时间越长,侦察效果越好。

### 2.2 目标伪装能力

目标伪装能力是指目标由于自身特性而躲避敌方侦察的能力,可以由亮度对比度、表面粗糙度、反射特性及特征尺寸来表征。

人眼的视觉灵敏程度跟目标与背景的亮度对比度有关。目标与背景的亮度对比度为

$$K = \frac{|Y_t - Y_b|}{\max(Y_b, Y_t)} \quad (1)$$

式中,  $Y_t$  和  $Y_b$  分别为目标与背景的亮度。亮度对比阈值是指人眼刚好把目标从背景中区分出来时所需的最低亮度对比值<sup>[7]</sup>。

目标表面的粗糙度也是目标的主要光学特性。

不同光滑程度的表面对入射光线反射的亮度有较大的差异。光滑的物体表面是入射光线发生镜面反射,光线强,常会出现闪光的现象;粗糙表面则在各个方向的亮度是均匀的。

物体表面材料的性质使其对不同波段的光线具有不同的反射能力<sup>[9]</sup>,可能使目标与背景呈现出不同的颜色。

目标的几何特性可理解为目标的特征尺寸,可以用来衡量敌方侦察发现、识别和确认目标的难易程度。

### 2.3 环境影响因素

环境影响因素主要是指各类环境情况对伪装效果造成的影响,主要由云量和太阳高度角决定。

大气层中云量直接影响光学成像卫星的成像质量。地球表面约 70% 被云层覆盖,云层越厚,成像质量越差。为便于分析,对云量分级,建立云量等级及其对成像效果的影响间的映射,即一定云量等级与目标暴露特征可信程度之间的定量关系。云量分 0 至 8 级,0 级为“万里无云”,8 级为“乌云密布”,则云量影响的气象影响因子函数<sup>[10]</sup>为:

$$f_m = 1 - \frac{n^2}{64} \quad (2)$$

式中,  $n$  为云量等级。

太阳高度角是制约可见光成像效果最直接的因素。太阳高度角是指卫星在目标区域上空拍照的地方时刻。太阳高度角可由下式计算:

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t \quad (3)$$

式中,  $\phi$  为 A 点的纬度;  $\delta$  为太阳赤纬(太阳光与赤道面的夹角);  $t$  为太阳时角(地方时)。太阳高度角受季节和时间的影 响,正午时太阳高度角最大。一般认为,在目前的技术水平下,当侦察区域内的太阳高度角  $h \geq 30^\circ$  时可进行详查照相,当太阳高度角  $h \geq 15^\circ$  时可进行普查照相。对于电视侦察,太阳高度角  $h \geq 5^\circ$  就可以进行<sup>[11]</sup>。以文献[11]中侦察时间对侦察效果的影响为参考,用简单的分段函数来描述太阳高度角影响因子:

$$f_e = \begin{cases} 0.95 & h > 30^\circ \\ 0.65 & 15^\circ < h \leq 30^\circ \\ 0.35 & 5^\circ < h \leq 15^\circ \\ 0 & h \leq 5^\circ \end{cases} \quad (4)$$

通过上述分析,建立防空导弹装备光学伪装效果的评估指标体系,如图 1 所示。

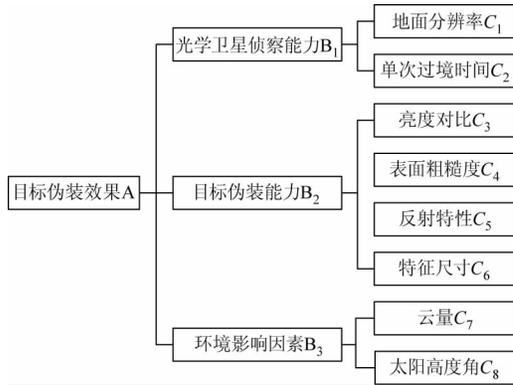


图1 评估指标体系

Fig.1 Evaluation index system

### 3 基于灰色关联分析的评估模型

研究防空导弹装备的光学伪装效果,其评估的流程如图2所示。

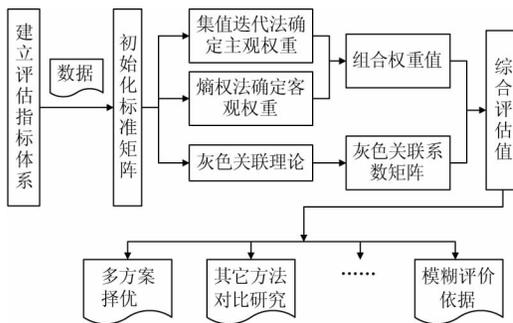


图2 评估流程图

Fig.2 Evaluation flow chart

#### 3.1 决策矩阵及其初始化

定义1:设多指标决策方案集合为  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ , 评估指标集合为  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ , 方案  $X_i$  关于指标  $V_j$  的属性值用  $X_{ij} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$  表示, 则称由  $n$  种方案的  $mn$  个指标值构成的矩阵  $X = (X_{ij})_{(n \times m)} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$  为方案集对指标集的评估矩阵。

定义2:记相对理想决策方案  $X_0$  对指标  $V_j$  的属性值为  $X_{0j}$ , 且有:当因素指标  $V_j$  为效益型指标时,  $X_{0j} = \max(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj})$ ; 当因素指标  $V_j$  为成本型指标时,  $X_{0j} = \min(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj})$ , 则称矩阵  $X = (X_{ij})_{(n+1) \times m} (i = 0, 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$  为方案集  $X$  对指标集  $V$  的决策矩阵。对其进行初始化, 公式为:

$$X_{Cij} = X_{ij}/X_{0j} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

此时, 称矩阵  $X_C = (X_{Cij})_{(n+1) \times m}$  为决策矩阵  $X = (X_{ij})_{(n+1) \times m}$  的初始化标准矩阵。

#### 3.2 组合赋权确定权重

组合赋权的目的是综合考虑各指标对于总体目标的影响程度。根据评估的根本目的, 考虑指标集的相对重要性、信息量、独立性和可信性等。本文用熵值法确定客观权重, 用集值迭代法确定主观权重。

第一步, 根据熵值法的定义, 结合式(5)可得指标值相对强度的熵为:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \frac{X_{Cij}}{E_j} \ln \frac{X_{Cij}}{E_j} \quad (6)$$

$$E_j = \sum_{i=1}^n X_{Cij} \quad (7)$$

第二步, 计算客观权重:

$$\alpha_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (8)$$

第三步, 集值迭代计算主观权重。邀请  $L$  位专家在指标集  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$  中任意选取其认为最重要的  $s (1 \leq s \leq m)$  个指标, 即第  $k (1 \leq k \leq L)$  位专家选取的结果是指标集  $V$  的一个子集为:

$$V_k = \{V_{1k}, V_{2k}, \dots, V_{sk}\} (k = 1, 2, \dots, L) \quad (9)$$

作函数:

$$\mu_{kj} = \begin{cases} 1, & V_j \in V_k \\ 0, & V_j \notin V_k \end{cases} \quad (10)$$

令  $g_j = \sum_{k=1}^L \mu_{kj} (j = 1, 2, \dots, m)$ , 则每个指标的主观权重:

$$\beta_j = g_j / \sum_{j=1}^m g_j \quad (11)$$

第四步: 计算组合权重:

$$w_j = \lambda \alpha_j + (1 - \lambda) \beta_j \quad (12)$$

#### 3.3 灰色关联分析模型

##### 3.3.1 适用性分析

灰色关联分析是一种定性和定量分析相结合的评估方法, 其通过一定的数据处理方法, 能较好地解决装备光学伪装指标难以准确量化和统计的问题, 排除了人为因素带来的干扰, 使评估结果更加客观准确。整个计算过程简单易懂, 操作性强, 评估计算只需要有少量代表性的样本即可, 且评估的指标体系扩展性好, 可根据具体情况进行增减。

##### 3.3.2 灰色关联分析过程

第一步, 求差序列。记:

$$\Delta_{ij} = |X_{Cij} - X_{C0j}| \quad (13)$$

$$\Delta_i = (\Delta_{i1}, \Delta_{i2}, \dots, \Delta_{im}), i = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

第二步,求两级最大差和最小差。记:

$$M = \max_i \max_j \Delta_{ij}, m = \min_i \min_j \Delta_{ij} \quad (15)$$

第三步,求关联系数:

$$r_{ij} = \frac{m + \xi M}{\Delta_{ij} + \xi M} \quad (16)$$

其中,  $\xi$  为分辨系数,且  $\xi \in (0, 1)$ , 通常取  $\xi = 0.5$ 。

定义 3:由  $n \times m$  个灰色关联系数  $r_{ij}(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$  构成的矩阵  $F = (r_{ij})_{n \times m}$  为多指标灰色关联系数矩阵<sup>[12]</sup>,即:

$$F = (r_{ij})_{n \times m} = \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix} \quad (17)$$

记方案  $X_i$  综合评估值为  $E_i$ , 则

$$E_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \quad (18)$$

$E_i$  值越大,就说明方案  $X_i$  与理想决策方案  $X_0$  的接近程度越高,效果越好。所以,可以根据  $E_i$  值的大小对各方案的效果进行分析评估。

#### 4 实例分析

##### 4.1 防空导弹光学伪装效果评估

根据伪装效果影响因素建立如图 1 所示的评估

$$X = (X_{ij})_{(n+1) \times m} = \begin{pmatrix} 0.7 & 340.132 & 0.2 & 0.8 & 0.2 & 0.3 & 0.234 & 0.35 \\ 0.1 & 1000.91 & 0.2 & 0.8 & 0.2 & 0.3 & 0.938 & 0.95 \\ 0.25 & 790.355 & 0.3 & 0.6 & 0.3 & 0.3 & 0.97 & 0.35 \\ 0.7 & 657.329 & 0.6 & 0.1 & 0.6 & 0.7 & 0.609 & 0.65 \\ 0.3 & 599.936 & 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.3 & 0.234 & 0.54 \\ 0.41 & 340.132 & 0.2 & 0.7 & 0.2 & 0.9 & 0.75 & 0.72 \end{pmatrix}$$

利用式(5)对决策矩阵进行初值化处理,得初

$$X_C = (X_{Cij})_{(n+1) \times m} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.1429 & 0.3398 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.2495 & 0.3684 \\ 0.3571 & 0.4304 & 0.6667 & 0.75 & 0.6667 & 1 & 0.2412 & 1 \\ 1 & 0.5174 & 0.3333 & 0.125 & 0.3333 & 0.4286 & 0.3842 & 0.5385 \\ 0.4286 & 0.5669 & 1 & 0.625 & 1 & 1 & 1 & 0.6481 \\ 0.5857 & 1 & 1 & 0.875 & 1 & 0.3333 & 0.312 & 0.4861 \end{pmatrix}$$

本文邀请 5 位教授相互独立地在 8 个评估指标组成的指标集中  $V$  中选取自认为重要的 4 个指标构

指标体系。

参考装备相关技术资料及部队统计数据,本文引用文献[13]、文献[14]的部分数据以及公开检索资料进行算例分析。各样本指标综合数据如表 1 所示。

表 1 伪装效果评估指标量化数据

Tab.1 Quantitative data of camouflage effect evaluation indicators

| 样本 | $C_1$ | $C_2$   | $C_3$ | $C_4$ | $C_5$ | $C_6$ | $C_7$ | $C_8$ |
|----|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 0.1   | 1000.91 | 0.2   | 0.8   | 0.2   | 0.3   | 0.938 | 0.95  |
| 2  | 0.25  | 790.355 | 0.3   | 0.6   | 0.3   | 0.3   | 0.97  | 0.35  |
| 3  | 0.7   | 657.329 | 0.6   | 0.1   | 0.6   | 0.7   | 0.609 | 0.65  |
| 4  | 0.3   | 599.936 | 0.2   | 0.5   | 0.2   | 0.3   | 0.234 | 0.54  |
| 5  | 0.41  | 340.132 | 0.2   | 0.7   | 0.2   | 0.9   | 0.75  | 0.72  |

方案集  $X$  和指标集  $V$  分别为:

$X = \{ \text{样本 1, 样本 2, 样本 3, 样本 4, 样本 5} \}$

$V = \{ \text{地面分辨率, 单次过境时间, 亮度对比, 表面粗糙度, 反射特性, 特征尺寸, 云量, 太阳高度角} \}$

由表 1 的数据,得到相对理想方案为:  $X_0 = (0.7, 340.132, 0.2, 0.8, 0.2, 0.3, 0.234, 0.35)$ , 方案集  $X$  对指标集  $V$  的决策矩阵为:

值化标准矩阵:

成 5 个指标子集,依次记为  $V_1 = \{C_1, C_3, C_5, C_8\}$ ,  $V_2 = \{C_3, C_4, C_5, C_6\}$ ,  $V_3 = \{C_2, C_4, C_5, C_7\}$ ,  $V_4 =$

$\{C_1, C_2, C_3, C_6\}$ ,  $V_3 = \{C_4, C_6, C_7, C_8\}$ , 由式(9)、(10)、(11)计算得到主观权重值  $\beta_j$ 。以上述标准化矩阵为数据源, 由式(6)、(7)、(8)计算得到各指标客观权重值  $\alpha_j$ 。将  $\lambda$  值设为 0.6, 由式(12)计算得到组合权重值  $w_j$ 。综合得到各指标主观权重、客观权重及组合权重值如表 2 所示。

利用式(13)、(14)、(15)、(16)求得灰色关联系数  $r_{ij}$ , 结合式(17)得到多指标灰色关联系数矩阵:

$$F = (r_{ij})_{n \times m} = \begin{pmatrix} 0.3379 & 0.3986 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.3683 & 0.4092 \\ 0.4049 & 0.4344 & 0.5676 & 0.6364 & 0.5676 & 1 & 0.3657 & 1 \\ 1 & 0.4755 & 0.3962 & 0.3333 & 0.3962 & 0.4336 & 0.4154 & 0.4867 \\ 0.4336 & 0.5025 & 1 & 0.5385 & 1 & 1 & 1 & 0.5542 \\ 0.5136 & 1 & 1 & 0.7778 & 1 & 0.3962 & 0.3887 & 0.4598 \end{pmatrix}$$

由式(18)计算各方案的综合评估值, 如表 3 所示。

表 2 指标权重值表  
Tab. 2 Indicator weight table

| 指标    | $\beta_j$ | $\alpha_j$ | $w_j$  |
|-------|-----------|------------|--------|
| $C_1$ | 0.1       | 0.1323     | 0.1194 |
| $C_2$ | 0.1       | 0.0596     | 0.0754 |
| $C_3$ | 0.15      | 0.21       | 0.186  |
| $C_4$ | 0.15      | 0.1069     | 0.1241 |
| $C_5$ | 0.15      | 0.21       | 0.186  |
| $C_6$ | 0.15      | 0.0743     | 0.1045 |
| $C_7$ | 0.1       | 0.1453     | 0.1272 |
| $C_8$ | 0.1       | 0.0624     | 0.0774 |

表 3 样本评估值  
Tab. 3 Sample evaluation value

| 样本 $i$    | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 评估值 $E_i$ | 0.7495 | 0.5996 | 0.4748 | 0.8031 | 0.7317 |

#### 4.2 结果分析

由  $E_4 > E_1 > E_5 > E_2 > E_3$  可知, 5 个样本光学伪装效果的排名由高到低依次为: 样本 4、样本 1、样本 5、样本 2、样本 3。此结果与表 1 中数据的实际意义相吻合, 说明本文的评估决策方法有效。

#### 5 结 语

防空导弹装备是我国国土防御的中坚力量, 也是敌方战略打击的首要目标, 正确有效评估其伪装效果至关重要。影响其伪装效果因素众多, 对其进行评估时要综合考虑卫星侦察能力、目标伪装能力

以及环境影响因素。文中建立基于组合赋权灰色关联分析的评估模型, 通过小样本量的算例分析, 得到了各样本的伪装效果参数, 其结果与侦察实践一致, 验证了评估模型的有效性及其客观性, 对实施伪装及评估伪装效果具有一定的参考价值。

#### 参考文献:

- [1] SHEN Rusong, SONG Guibao, LU Weimin, et al. Capabilities of indentifying targets of imaging reconnaissance satellites[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(2): 34-37. (in Chinese)  
沈如松, 宋贵宝, 吕卫民, 等. 成像侦察卫星识别目标能力分析[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 34-37.
- [2] FANG Hao, LI Aihua, PAN Yulong, et al. The effect evaluation of infrared camouflage simulation system based on visual similarity[J]. Acta Armamentarii, 2017, 38(2): 351-357. (in Chinese)  
方浩, 李艾华, 潘玉龙, 等. 面向视觉相似的红外伪装仿真效果评估[J]. 兵工学报, 2017, 38(2): 351-357.
- [3] TIAN Shaohui, CHEN Hongshu, HU Zhiyi, et al. An analysis on examination indexes of thermal infrared camouflage[J]. Infrared Technology, 2010, 32(1): 57-60. (in Chinese)  
田少辉, 陈宏书, 胡志毅, 等. 热红外伪装效果检测指标分析[J]. 红外技术, 2010, 32(1): 57-60.
- [4] LIU Xun, HUA Wenshen, YANG Jia. Camouflage effect evaluation based on hyperspectral detecting technology [J]. Infrared and Laser Engineering, 2014, 43(10): 3228-3232. (in Chinese)  
刘恂, 华文深, 杨佳. 面向高光谱探测的伪装效果评价方法[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(10): 3228-3232.
- [5] HE Zijian, SHI Jiamin, WANG Jiachun, et al. Recognition of camouflaged target by hyperspectral imaging system based on acousto-optic tunable filter[J]. Laser & Infrared, 2014, 44(7): 796-800. (in Chinese)  
何梓健, 时家明, 汪家春, 等. AOTF 高光谱探测系统对伪装目标的识别研究[J]. 激光与红外, 2014, 44(7): 796-800.
- [6] WU Weiqi, ZHANG Yulin. The probability analysis of target detection for the photo-reconnaissance satellite [J]. Journal of National University of Defense Technology, 2006, 28(4): 14-17. (in Chinese)  
吴炜琦, 张育林. 光学侦察卫星的目标探测概率分析[J]. 国防科技大学学报, 2006, 28(4): 14-17.
- [7] XING Xin, CAO Yi, TANG Gengping, et al. Stealth cam-

- ouflage technology foundation [M]. Changsha: National Defense Science and Technology University Press, 2012, 23 - 56. (in Chinese)
- 邢欣, 曹义, 唐耿平, 等. 隐身伪装技术基础[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2012: 23 - 56.
- [8] LIU Shangfu, GAN Huaijin, LIU Xixia. Brief review on imaging reconnaissance satellites and opposes technology [J]. Ship Electronic Engineering, 2010, (8): 17 - 20. (in Chinese)
- 刘尚富, 甘怀锦, 刘曦霞. 成像侦察卫星及其对抗技术浅析[J]. 舰船电子工程, 2010, (8): 17 - 20.
- [9] YANG Hengfu. Survey of active camouflage technique for digital image [J]. Laser & Infrared, 2012, 42(5): 481 - 489. (in Chinese)
- 杨恒伏. 数字图像主动伪装技术研究综述[J]. 激光与红外, 2012, 42(5): 481 - 489.
- [10] LIU Chengcheng, LI Shaokai, ZHANG Zhonghua. Evaluation study on the threat of optical reconnaissance satellite to camouflage targets [J]. Ship Electronic Engineering, 2010, (11): 162 - 175. (in Chinese)
- 刘承承, 李少凯, 张中华. 光学侦察卫星对迷彩伪装目标的威胁评估研究[J]. 舰船电子工程, 2010, (11): 162 - 175.
- [11] HUANG He, LV Yingjie. Calculating method and simulation analysis on discovery target probability of optical imaging satellite [J]. Electro-Optic Technology Application, 2007, 22(4): 21 - 24. (in Chinese)
- 黄河, 吕瑛洁. 光学成像卫星发现目标概率的计算方法及仿真分析[J]. 光电技术应用, 2007, 22(4): 21 - 24.
- [12] LIU Sifeng, XIE Naimin, et al. Grey system theory and its application [M]. Beijing: Science Press, 2013: 49 - 54. (in Chinese)
- 刘思峰, 谢乃明, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 49 - 54.
- [13] LU Xuliang, LIN Wei, XU Weidong, et al. Applying the fuzzy clustering analysis of ISODATA to the classification of camouflage effectiveness [J]. Acta Armamentarii, 2005, 26(5): 681 - 684. (in Chinese)
- 吕绪良, 林伟, 许卫东, 等. 应用迭代自组织数据分析技术模糊聚类法划分伪装效能等级[J]. 兵工学报, 2005, 26(5): 681 - 684.
- [14] HE Wucan, LIAO Shouyi, SU Delun, et al. Analysis and simulation of threat characteristics about optical imaging reconnaissance satellite [J]. Modern Defence Technology, 2015, 43(6): 21 - 26. (in Chinese)
- 何武灿, 廖守亿, 苏德伦, 等. 光学成像侦察卫星威胁特性分析与仿真研究[J]. 现代防御技术, 2015, 43(6): 21 - 26.