

对地目标侦察威胁权重分析研究

刘增灿, 邓爱明, 王森, 张天才

(中国兵器工业 第五九研究所, 重庆 400039)

摘要: 基于对地侦察平台及其性能参数的统计数据, 分析了航天与航空侦察威胁特点, 总结了地面目标暴露征候; 采用层次分析法建立了对地目标侦察威胁权重评估模型, 确定了各种影响因子的分析方法, 计算获得雷达、红外及光学侦察威胁权重分别为 25%、14% 和 61%; 为地面特定目标进行侦察威胁分析提供了新的方法, 对地面目标隐身设计与作战效能分析评估具有一定的指导意义。

关键词: 侦察威胁; 权重分析; 地面目标; 暴露征候

Analysis on Reconnaissance Threat for Ground Targets

Liu Zengcan, Deng Aiming, Wang Seng, Zhang Tiancai

(No. 59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China)

Abstract: Based on the statistical data of Reconnaissance platform for ground targets and its performance parameters, analyzed of the characteristics of space and aviation reconnaissance threats, summed up the exposure of the ground target, established the threat weight assessment model of reconnaissance threat for ground targets by the method of AHP, determined the analysis methods of various influencing factors, the calculated threat weights of radar, infrared and optical for ground targets are 25%, 14% and 61%, respectively. A new analysis method for more accurate threat object detection is put forward, its is important for the stealth design and stealth efficiency Assessment.

Keywords: reconnaissance threat; weight analysis; ground targets; exposed character

0 引言

随着高技术侦察的发展, 现代战场将处于高度透明, 在“发现即意味被摧毁”的战场环境下, 导弹、坦克装甲车辆等地面目标面临日益严重的侦察及生存威胁。侦察探测和隐身伪装是矛和盾的关系, 侦察威胁分析是隐身伪装设计的前提, 也是科学预测武器系统作战能力的重要依据。

1 对地侦察威胁特点与地面目标暴露征候

1.1 对地侦察威胁特点

通过分析潜在敌对国家航天和航空侦察装备情况^[1-2], 获得对地目标侦察威胁具有以下特点:

1) 地面目标所面临的威胁主要来自天基卫星和空基战略/战术侦察机等机载侦察平台。其通过高分辨的可见光照相, 近中、远红外热成像以及合成孔径侧视雷达成像等进行探测识别地面目标。据统计, 美军通过航天与航空侦察所获取的战场信息比例为 84:16, 其中可见光侦察占比大于 60%, 为主要侦察方式。航空侦察中, 无人侦察逐渐超越有人侦察成为主要侦察方式^[3]。

2) 空天一体化侦察对地面目标具有“多谱段”、“全角域”、“变背景”等威胁特点:

“多谱段”: 地面目标面临的侦查威胁波段主要为雷达 ((1~40) GHz)、红外 ((3~5、8~14) μm)、光学 ((0.3~2.5) μm) 等多个不同谱段。

“全角域”: 天基和航空雷达、红外及光学侦察系统对地面目标具有全方位 (0~360°)、大俯角 (0~90°) 的全角域侦察威胁特点。

“变背景”: 部署在不同地域的目标其地域背景是不同的, 且机动过程中其地面主体背景 (林地、荒漠、草地和雪地等) 是随地变化的。因此, 对地面目标侦察具有复杂变化的地面背景干扰特点。

1.2 地面目标暴露征候

从隐身角度而言, 地面目标主要表现为雷达、红外及光学 3 种暴露征候。

1) 雷达暴露征候。地面目标金属表面结构多, 尺寸大, 形状特殊, 雷达波反射率高, 极易被雷达侦察识别。典型车辆目标 RCS 峰值达 1000~10000 m^2 , 雷达在 100 km 外即可发现行驶中的车辆。

2) 红外暴露征候。地面目标金属车体、发动机及其排出废气、轮胎/履带与地面摩擦等都会产生明显热辐射, 与热惯量较大的植被形成一定的红外辐射能量差别, 容易被各种红外探测器捕获。

如车辆发动机外表温度可高达 100 $^{\circ}\text{C}$ 以上, 散热器温度约为 60~90 $^{\circ}\text{C}$, 形成的最大辐射波长约 8~8.7 μm , 正好处在红外辐射大气窗口范围内。前视红外相机的温度分辨率已经优于 0.1~0.5 $^{\circ}\text{C}$, 车辆和各种背景的温差远远超过此值, 所以对车辆红外辐射的探测是很容易的^[4]。

3) 光学暴露征候。地面车辆棱角分明、线条规则清晰, 长度超过普通车辆, 很容易被各种光学侦察仪器发现和识别。地面目标及其隐身涂料、伪装网光谱反射特性与绿色植物也存在明显差别 (人造目标与背景的亮度对比在 0.4 以上), 在超光谱、高光谱等侦察设备下容易成为照相、电视、光谱等光学侦察设备发现和识别目标的依据。

高技术侦察威胁下, 地面目标面临严重的侦察与打击威胁, 只有实施有效的隐身伪装, 才能适应现代高技术战争的需求。装备隐身应针对侦察的谱段、角域、模式等威胁特点, 分析威胁权重、根据权重采用不同的隐身措施, 提升装备生存

收稿日期: 2017-08-15; 修回日期: 2017-08-30。

作者简介: 刘增灿 (1979-), 男, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事目标特性测试与评估方向的研究。

能力。

2 侦察威胁建模

地面目标侦察威胁评估涉及敌方探测装备性能、我军装备隐身防护能力、探测背景环境等多项复杂、且相互关联的指标,本质上属于典型的多属性推理、决策行为。而层次分析法(AHP)是一种将定性分析与定量分析相结合,处理复杂系统的有效手段。因此,本文基于层次分析法是开展地面目标侦察威胁分析评估。

2.1 侦察威胁评估要素

天基和航空侦察设备探测识别地面目标能力的主要要素包括:

1) 敌方侦察手段及性能: 临空时间, 侦察持续时间, 探测器分辨率, 数量及覆盖面积等。

2) 地面目标隐身特性: 尺寸, 外形, 活动时间, 目标暴露特征, 目标与背景特征对比度。

3) 侦察环境影响要素: 气象、天时等影响侦察质量的自然环境因子。

4) 侦察平台与目标的态势: 目标是否在观测区域、观测时机是否与目标发生时空交割^[5]。

2.2 侦察威胁影响因子

侦察威胁评估因子主要是侦察设备探测识别目标的概率影响因子, 包括以下 6 个方面。

2.2.1 对地侦察分辨率

依据雷达、红外及光学探测器空间分辨率计算公式及其探测器性能参数^[6]。其中光学分辨率 L_o 与探测器高度 H 、成像焦距 f 、像元大小 a 相关, $L_o = H \cdot a / f$, 当探测器像元大小 a 和焦距确定后, H 越小, 探测器视场越小, 地面分辨率越高。对地分辨率 0.3~1 m 时主要用于军事侦察, 探测特定军事目标。目前军用光学侦察传感器地面分辨率已达到 0.1~0.3 m 的水平。雷达距离向分辨率主要与传感器带宽 B 和入射角 θ 相关, $L_r = c / (2B \cdot \cos\theta)$, c 为光速, 雷达带宽越宽, 地面分辨率越高。

依据目标对地探测传感器性能和军事侦察应用认知, 用区间函数描述分辨率影响因子如下:

$$f_R = \begin{cases} 1 & L_o \leq 0.3 \\ 0.9 & 0.3 < L_o \leq 1 \\ 0.6 & 1 < L_o \leq 3 \\ 0.4 & 3 < L_o \leq 5 \\ 0 & L_o > 5 \end{cases} \quad f_I = \begin{cases} 1 & L_o \leq 1 \\ 0.9 & 1 < L_o \leq 2 \\ 0.6 & 2 < L_o \leq 3 \\ 0.4 & 3 < L_o \leq 5 \\ 0 & L_o > 5 \end{cases}$$

$$f_O = \begin{cases} 1 & L_o \leq 0.1 \\ 0.9 & 0.1 < L_o \leq 1 \\ 0.6 & 1 < L_o \leq 2 \\ 0.4 & 2 < L_o \leq 3 \\ 0 & L_o > 3 \end{cases} \quad (1)$$

重访周期 T 影响因子为:

$$f_{period} = \begin{cases} 1 & T \leq 2 \\ 0.9 & 2 < T \leq 12 \\ 0.6 & 12 < T \leq 24 \\ 0.4 & T > 24 \end{cases} \quad (2)$$

2.2.2 太阳高度角

对于光学成像侦察传感器来说, 其成像的质量还取决于太

阳高度角。太阳高度角越大, 其对成像质量的影响越小。太阳高度角 γ 主要与目标的纬度 α 、太阳入射线与赤道夹角 θ 及太阳时角 β 相关, $\gamma = \arcsin(\sin\alpha \cdot \sin\theta + \cos\alpha \cdot \cos\theta \cdot \cos\beta)$ 。依据不同太阳高度角下的光学探测概率统计情况, 用区间函数描述太阳高度角影响因子。太阳高度角越大, 太阳光线对光学传感器成像影响越小。一般当目标区域的太阳高度角 $h \geq 30^\circ$ 时可进行军用目标详查。

$$f_h = \begin{cases} 1 & 60^\circ > h \\ 0.95 & 30^\circ < h \leq 60^\circ \\ 0.65 & 15^\circ < h \leq 30^\circ \\ 0.35 & 5^\circ < h \leq 15^\circ \\ 0 & h \leq 5^\circ \end{cases} \quad (3)$$

2.2.3 气象环境影响

红外、可见光及光谱对云层的不具有较强的穿透能力, 光学传感器在雨雪天、阴天和雾霾天的成像质量会迅速下降。

用八分量测云公式计算云量 n 影响因子^[7], 晴朗无云时 n 为 0, 太空被云层完全遮蔽时 n 为 8:

$$f_{cloud} = 1 - n^2 / 64 \quad (4)$$

雾气对光学探测的影响按水平能见距表征, 能见距在 1~10 km 之间的称为轻雾; 能见距低于 1 km 的称之为雾; 能见距在 200~500 m 之间的称为大雾; 能见距在 50~200 m 之间的称为浓雾; 能见距不足 50 m 时称为重雾。雾霾影响因子如下:

$$f_{fog} = \begin{cases} 0 & \text{重雾霾} \\ 0.2 & \text{浓雾霾} \\ 0.4 & \text{大雾霾} \\ 0.6 & \text{雾霾} \\ 0.8 & \text{轻雾霾} \\ 1 & \text{无雾霾} \end{cases} \quad (5)$$

对光学侦察传感器而言, 其侦察还受探测时间的影响限制, 依据工程试验经验, 探测时段影响因子为:

$$f_{Time} = \begin{cases} 0 & \text{夜晚} \\ 0.8 & \text{早晚} \\ 1.0 & \text{白天} \end{cases} \quad (6)$$

云、雾和时段气象环境影响因子计算如下:

$$f_{atm} = f_{fog} \times f_{cloud} \times f_{Time} \quad (7)$$

2.2.4 目标轮廓形状

对地远距离探测成像时, 由于受传感器分辨率的限制和大气环境及其目标背景的影响, 探测器成像反映地面目标的轮廓外形特征时会存在模糊、扭曲、暗斑等失真现象, 不同轮廓形状的目标其探测识别影响因子不同:

$$f_{app} = \exp[-(Bf_L/L)^2] \quad (8)$$

其中: B 为目标形状的修正参数 (圆形 $B=0.97$, 正方形 $B=1.72$, 长方形 $B=2.58$, 复杂形状 $B=4$); L 为目标几何尺寸, f_L 为卫星地面分辨率 (m)。

2.2.5 目标与地物背景对比度

受人对图像感触能力的限制, 目标与地物背景对比度对人感知目标的影响很大。图像中目标和背景在亮度、颜色、温度、散射系数等方面的对比度越大, 传感器成像就越清楚, 越容易从背景中辨识出军事侦察目标。反之, 目标图像模糊失真, 不能有效的从复杂背景环境中分辨出军事目标。颜色和亮度的影响因子可由目标的反射差值表示。颜色间的对比度根据

色度空间欧氏距离定义的色差描述。红外辐射对比度计算如下式所示：

$$C = (T_t^i - T_b^i) / [T_t^i + (1 - \epsilon_t) T_b^i / \epsilon_t] \quad (9)$$

其中： T_t, T_b, ϵ_t 分别目标、背景辐射温度和目标发射率。设 $\Delta\Gamma, r$ 为目标与背景雷达散射系数和亮度差值，雷达、红外及光学对比度影响因子为：

$$f_R = \begin{cases} 1.0 & \Delta\Gamma \geq 20 \\ 0.7 & 20 > \Delta\Gamma \geq 10 \\ 0.4 & 10 > \Delta\Gamma \geq 5 \\ 0 & \Delta\Gamma < 5 \end{cases}$$

$$f_I = \begin{cases} 1.0 & r > 0.02 \\ \left(\frac{r-0.01}{0.01}\right)^{0.5} & 0.02 > r > 0.01 \\ 0 & r < 0.01 \end{cases}$$

$$f_O = \begin{cases} 1.0 & r > 0.4 \\ \left(\frac{r-0.2}{0.2}\right)^{0.5} & 0.4 > r > 0.2 \\ 0 & r < 0.2 \end{cases} \quad (10)$$

综合对比度影响因子 f_{con} 计算如下式：

$$f_{con} = f_R \times f_I \times f_O \quad (11)$$

2.2.6 目标任务密级

目标任务越重要，其保密等级越高，被侦察发现的威胁就越大。保密等级影响因子如下式所示：

$$f_{sec} = \begin{cases} 0 & \text{无密级} \\ 0.4 & \text{四级密级} \\ 0.6 & \text{三级密级} \\ 0.8 & \text{二级密级} \\ 1 & \text{一级密级} \end{cases} \quad (12)$$

2.3 侦察威胁层次结构模型

复杂背景环境下的地面目标侦察威胁评估层次结构如图 1 所示。侦察威胁权重分析考虑如下因素：探测器性能、目标与背景对比能力、背景环境干扰影响、侦察平台与目标时刻交割范围、目标任务密级。其中侦察平台探测识别能力是传感器发现和能被识别的关键因素，决定着目标暴露特征中可识别信息的重要信息，为衡量威胁的根本属性；侦察背景环境的影响干扰决定着侦察信息的有效性，其受气象环境、地物背景干扰因素影响较大，虽然是目标探测识别能力的一部分却随着背景环境状况实时改变，应单独重点衡量；对比度是表征从背景中识别有效目标的能力，即使成像质量很好但却不一定发现融合于背景的对象，该因素从目标特征识别的角度上限制了空地侦察能力，需要从亮度、颜色、温度、散射对比度的角度衡量其光学、红外及雷达成像侦察的影响；探测器临空时间是威胁产生后持续的时间，通常和探测器的数量相关，多幅图像通常比单幅图像产生的威胁大。执行相关目标试验或作战任务时，通常会根据其重要程度而设定保密等级，保密等级的确定还与试验对象的暴露特征相关，保密程度高的任务通常暴露特征更明显。特别是有的暴露特征在成像质量不清楚时也能起到识别对象的作用，其潜在威胁大。故保密等级的重要性位于目标识别能力和成像质量之间。根据威胁程度统计参数和威胁评判经验构造判断矩阵，两两比较相关因素，从而确定所有因素的重要性。采用 1~9 标度法构造判断矩阵，相关因素的重要性权值如表 2 所示。

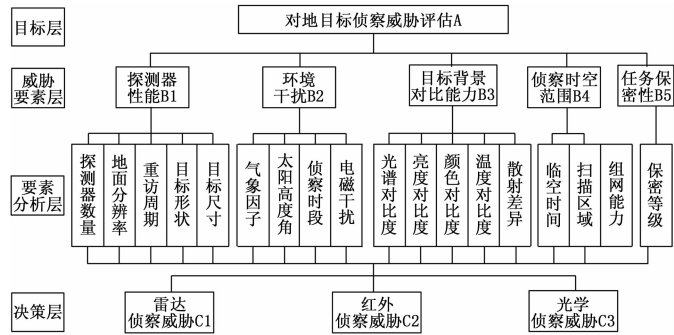


图 1 对地侦察威胁权重层次分析模型

根据专家评判和统计数据进行分析，采用 1~9 标度法构造判断矩阵，相关因素的重要性权值如表 1 所示。当侦察威胁影响要素条件发生变化时，需更新判断矩阵^[8]。

设探测器高度为 500 km，雷达、红外及光学探测器分辨率分别为 0.3 m、2 m 和 0.1 m；目标保密等级为三级，地面目标轮廓外形尺寸为 3 m×18 m 长方形，隐身目标背景对比度为 0.8；时间为夏季中午，晴朗无云无雾，太阳高度角 50 度，计算的的对地侦察威胁影响因子分别为：

$$f_t = 1, f_{app} = 0.98, f_{ao} = 0.95, f_{con} = 0.8, f_{sec} = 0.8 \quad (13)$$

将其影响因子与各权值相乘，经过四舍五入得出表 1 的权值修正值。

表 1 要素层 B 相关性因素权重表

因素	探测器性能 B1	环境干扰 B2	对比度 B3	时空范围 B4	保密性 B5
权值	8	4	6	5	9
修正权	8	4	6	4	7

利用修正权值，构造判断矩阵 A ，并进行其正规化、归一化计算，如表 2 所示。可得判断矩阵特征向量： $W = [0.4224, 0.069, 0.1706, 0.0689, 0.2691]^T$ ，对 A 进行随机一致性检验， $CI = 0.0156, RI = 1.12$ ，则 $CR = 0.0156/1.12 = 0.0139 < 0.1$ ，通过检验。

表 2 目标层 A 对要素层 B 的归一化判断矩阵

$\tilde{A}(W_{ij})$	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
B_1	0.4478	0.3571	0.4500	0.3571	0.5000
B_2	0.0896	0.0714	0.0500	0.0714	0.0625
B_3	0.1493	0.2143	0.1500	0.2143	0.1250
B_4	0.0896	0.0714	0.0500	0.0714	0.0625
B_5	0.2239	0.2857	0.3000	0.2857	0.2500

同理对要素层 B 层和决策层 C 之间也可以建立类似的判断矩阵。由于相关影响因子在各侦察威胁时发挥等同作用，在构造要素层 B 层和决策层 C 的判断矩阵时不作修正。

分别根据探测器性能、背景环境干扰、目标与背景成像特征对比度、侦察平台与目标活动区域的时空交割范围和目标任务的保密等级对侦察威胁权重评估的重要性标度构造各判断矩阵，得到其判断矩阵特征向量分别为：

$$W_{B1} = [0.2605, 0.1062, 0.6333]^T; W_{B2} = [0.6333, 0.1062, 0.2605]^T; W_{B3} = [0.0778, 0.2344, 0.6877]^T; W_{B4} = [0.1638, 0.2973, 0.5390]^T; W_{B5} = [0.2605, 0.1062,$$

0.6333]^T。

2.4 威胁权值计算及分析

利用同一层次中所有层次单排序的结果, 就可以计算针对上一层次而言, 本层次所有因素重要性的权值, 获得层次总排序。计算组合权向量公式如下所示:

$$W_k = \left(\sum_{j=1}^n a_j \cdot b_{kj} \right) \quad (14)$$

组合权向量检验如下:

$$CR_j = \left(\sum_{j=1}^5 a_j \cdot CI_j \right) / \left(\sum_{j=1}^5 a_j \cdot RI_j \right) \quad (15)$$

其中: a_j 为目标层对要素层的特征向量, b_{kj} 为要素层对决策层的特征向量, CI_j 为要素层对决策层一致性指标和随机一致性指标 RI_j 。

计算的组合权值结果如表 3 所示。

表 3 雷达、红外及光学综合权值结果如表

层次 B	B1	B2	B3	B4	B5	总排序 (权值)
层次 C	0.4224	0.0690	0.1706	0.0690	0.2691	
C ₁	0.2605	0.6333	0.0778	0.1638	0.2605	0.2484
C ₂	0.1062	0.1062	0.2344	0.2973	0.1062	0.1412
C ₃	0.6333	0.2605	0.6877	0.5390	0.6333	0.6104
λ_{max}	3.0387	3.0387	3.0775	3.0092	3.0387	CR<0.1
CI	0.0194	0.0194	0.0387	0.0046	0.0194	
RI	0.5800	0.5800	0.5800	0.5800	0.5800	
CR	0.0334	0.0334	0.0668	0.0079	0.0334	

由计算的雷达、红外及光学探测威胁权重结果可见, 光学探测器对地面目标的侦察威胁最大, 权值占比 61%; 雷达探测器对地面目标的侦察威胁次之, 其权值占比 25%; 红外探测器对地面目标威胁最小, 权值占比 14%。这是因为: 1) 光学探测器分辨率高 (目前很多军用侦察装备的可见光分辨率已优于 1m), 且在可见光近红外波段具有上百个微细纳米光谱成像波段, 对地物背景及地面金属目标具有很强的材质区分鉴别能力, 数量占绝大多数 (且大多雷达、红外探测器平台上本身就集成了可见光传感器), 距离远视场大扫描范围广, 组网侦察重访周期短探测概率大, 因此光学侦察威胁最大; 2) 红外探测器优于地面分辨率较低 (大多数红外探测器主要功能是追踪空中目标

[0.3, 0.5] 区间内, 能够接收此次云计算环境下的网络同步数据信息并进行数据更新, 实现云计算环境下的数据安全性准确判断。

3 结束语

基于前面阐述的方法在实际应用中产生的问题, 提出一种基于 LabWindows 的云计算环境安全框架系统设计方法, 节省云计算环境下网络节点的能量开销, 提高网络数据安全性判断准确率的同时, 为今后不断改进云计算环境下网络数据的加密技术, 以及不断完善云计算环境安全框架、优化安全框架系统性能提供良好的前提基础, 具有重要的发展意义。

参考文献:

[1] 王 栋, 陈传鹏, 颜 佳, 等. 新一代电力信息网络安全架构的思考 [J]. 电力系统自动化, 2016, 40 (2): 6-11.
 [2] 任江伟, 韩跃龙. 基于信息融合的网络安全态势评估模型 [J]. 计

的), 非高温目标红外探测受地物背景和大气环境影响大, 作用距离小, 因而红外侦察威胁最小; 3) 雷达探测由于不受气象环境的影响, SAR \ ISAR 成像分辨率仅次于光学 (美军间谍卫星雷达成像分辨率已达到 1 m 级), 且雷达具有较为突出的动目标区分功能, 尤其对行军移动中的地面目标具有很强的侦查定位跟踪能力。但其受地物背景杂波的影响, 探测信杂比较低, 图像解译难且时间长, 实时监控能力低, 因而雷达侦察威胁相对光学侦察较小, 而比红外侦察威胁大。

3 结论

本文总结了对地目标侦察威胁特点及地面目标暴露征候, 基于层次分析法建立了对地目标多谱段侦察威胁权重评估模型。通过定性和定量方式充分考虑了多种因素的影响, 计算获得了合理的侦察威胁权重评判结果。对于新型地面目标隐身设计与作战性能分析评估具有一定的指导作用。

本文建立的侦察威胁权重分析模型, 由于缺乏实际侦测数据检验校模, 涉及到一些不确定因素, 下一步将采用试验数据评定威胁权重, 以求获得更加客观的结果。

参考文献:

[1] Jan V T, et al. Air—Sea Battle: A point of departure operational concept [R]. Center for Strategic and Budgetary Assessments Report, 2010.
 [2] Marcia S S. Military space program; issues concerning DOD’s SB-IRS and STSS program [R]. CRS Report for Congress, 2005.
 [3] 郭 杰, 田江晓, 等. 导弹武器系统伪装需求探析 [J]. 飞航导弹, 2012, (7): 46-51.
 [4] 张洪涛. 导弹阵地的反侦察措施探讨 [J]. 航天电子对抗, 2005, 21 (6): 8-10.
 [5] 汤志荡, 张 安. 战场威胁估计理论与方法研究 [J]. 火力与指挥控制, 2011, 36 (9): 2-4.
 [6] 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, 30 (11): 162-165.
 [7] 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.
 [8] 邵锦萍, 吕绪良, 苏海涛, 等. 基于层次分析法的侦察威胁模型结构研究 [J]. 光电技术应用, 2006, 21 (1): 54-57.
 [9] 计算机研究与发展, 2015, 46 (9): 353-362.
 [3] 李方伟, 张新跃, 朱 江, 等. 基于信息融合的网络安全态势评估模型 [J]. 计算机应用, 2015, 35 (7): 1882-1887.
 [4] 李方伟, 邓 武, 朱 江. 一种基于复杂网络的网络安全态势预测机制 [J]. 计算机应用研究, 2015, 32 (4): 1141-1144.
 [5] 作志鹏, 黄志球, 王珊珊, 等. 一种基于故障扩展 SysML 活动图的安全性验证框架研究 [J]. 计算机科学, 2015, 42 (7): 222-228.
 [6] 刘哲元, 徐 隽, 汪 兴, 等. 基于用户意图的网络流量授权安全框架 [J]. 小型微型计算机系统, 2016, 37 (1): 114-118.
 [7] 刘哲元, 徐 隽, 汪 兴, 等. 一种基于虚拟机自省的安全检测框架 [J]. 计算机工程, 2016, 42 (3): 182-187.
 [8] 陆耿虹, 冯冬芹. 工控网络安全态势感知算法实现 [J]. 控制理论与应用, 2016, 33 (8): 1054-1060.
 [9] 李方伟, 张新跃, 朱 江, 等. 基于 APDE-RBF 神经网络的网络安全态势预测方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2016, 38 (12): 2869-2875.
 [10] 黄海军. 基于云计算的网络安全评估 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (12): 115-117.