

文章编号 : 1003-501X(2006)11-0017-05

基于积因子方法的空中目标威胁排序研究

唐雪松^{1,2}, 郭立红¹, 陈长喜^{1,2}

(1. 中国科学院长春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 100039)

摘要: 积因子方法是在层次分析法基础上改进的定性分析与定量分析相结合的决策分析方法, 适用于多准则决策问题。通过实例和仿真实验用积因子方法根据威胁程度的大小对敌空袭目标进行排序, 介绍了威胁评估和排序的求解过程, 以此提供敌空袭目标对我保卫目标或区域所构成的威胁等级。实验结果表明, 积因子方法可以解决利用传统层次分析法在威胁评估排序中产生的逆序问题。

关键词: 积因子法; 层次分析法; 威胁评估; 威胁排序; 目标识别

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

Threat sorting of air attack targets based on product factor method

TANG Xue-song^{1,2}, GUO Li-hong¹, CHEN Chang-xi^{1,2}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: We developed the product factor method to solve the problem of multiattribute decision, which is a kind of decision analysis method in combining qualitative analysis and quantitative analysis improved on the Analytic Hierarchy Process (AHP). This paper introduces the solution procedure of threat assessment and threat sorting by applying the product factor method in a simulated experiment. The threat rank is offered to defend objects or area by sorting and by threat extent of the enemy air attack targets. The experiment results show that this method resolves the problem of inverted sequence engendered in the procedure of threat sorting.

Key words: Product factor method; Analytic hierarchy process; Threat assessment; Threat sorting; Target recognition

引 言

在现代防空作战过程中, 随着目标的机动性和武器杀伤力的增加, 要求利用航空侦察、雷达航迹辨识等各种手段尽早地探测和识别目标, 以实现尽量长的预警时间, 并且在识别出空袭目标的同时要求要对敌空袭目标对我保卫目标或区域所构成的威胁程度做出准确的估计^[1-2]。在防空 C³I(Command Control Communication & Intelligence)系统^[3]中, 威胁评估属于数据融合中的第三级结构^[4-6], 它能定量地给出敌军的威胁能力, 并提供敌军意图, 它也是整个 C³I 系统中最关键的一级结构。对敌空袭目标进行威胁评估能

够估计空袭目标是否足够接近某个火力单元或其所保卫的要地, 判明空袭目标是否对它构成了威胁以及威胁程度的大小, 然后根据威胁程度的大小对目标进行排序。

敌目标威胁程度的大小是由多种因素决定的, 其中既有定性的因素又有定量的因素, 在威胁评估时必须综合考虑, 且要加入人的偏好信息。而层次分析法(Aalytic Hierarchy Process, 简称 AHP)^[7]能够通过定性判断和定量计算, 将经验判断给予量化, 对决策方案进行排序, 是一种定性分析与定量分析相结合的决策分析方法, 适用于多准则决策问题, 是解决对敌空中目标威胁评估排序的一种行之有效的方法。

然而, 传统的层次分析法, 无论是相对测量方法还是绝对测量方法都可能出现逆序问题, 本文提出的积因子方法既保留了传统层次分析法的优点, 又较好地解决了在威胁评估排序中产生的逆序问题, 并通过实例和仿真实验验证了此方法的有效性和实用性。

1 积因子方法

像传统层次分析法一样, 积因子方法首先也要构造一个递阶层次结构, 需要注意的是, 积因子方法要求将方案层与准则层严格区分, 对方案层和准则层采用不同的方法进行处理。也就是说, 属性层是最低一层的准则层。属性层对其上层准则的重要性就是属性值。一个方案的全体属性值构成属性矢量, 每一个决策方案都对应一个属性矢量。属性值可以通过测量得到, 可以采用传统的相对测量方法, 也可以采用专家打分方法。对于其他准则层, 准则的重要性值为 $X_1^{a_1} X_2^{a_2} \cdots X_k^{a_k}$, 式中 k 为这个父准则所包含的子准则的个数; X_k 为第 k 个子准则的重要性值; a_k 为第 k 个子准则对这个父准则的贡献系数。子准则与父准则之间的关系和处理方法, 与传统层次分析法相同。把判断矩阵的最大特征值所对应特征矢量作为贡献系数矢量。

积因子方法与传统方法最大的区别, 是目标重要性值函数采用幂指数的乘积形式, 而不是像传统方法那样, 目标重要性值函数采用乘加形式。积因子方法的目标重要性值函数形式为

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1^{\gamma_1} x_2^{\gamma_2} \cdots x_n^{\gamma_n}$$

式中 $[\gamma_1 \ \gamma_2 \ \cdots \ \gamma_n]^T$ 为层次结构矢量。

在实际计算时, 没有必要从底层开始自下而上地逐层求重要性值, 而是与传统层次分析法一样, 通过两两比较求出判断矩阵及其归一化特征矢量, 得到各个子准则对父准则的贡献系数矢量, 最后利用矩阵乘法得到各属性总的贡献系数矢量, 贡献系数矢量就称为层次结构矢量。

层次结构矢量计算公式为

$$\begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \cdots & a_{i1} \\ a_{12} & a_{22} & \cdots & a_{i2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{1j} & a_{2j} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_m \end{bmatrix}$$

式中 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ 为准则对目标的贡献系数; a_{ij} 为属性对准则的贡献系数

把所有决策方案的目标重要性值按大小进行排序, 便可得到决策方案的优劣顺序。

2 仿真和实验结果

2.1 分析建模

在实际作战过程中, 敌我双方均相互保密, 作为防空方只能根据雷达探测信息和平时掌握的敌信息来进行判断, 假设将要评估的空袭目标已进行过类型识别, 根据目标速度及目标信号特征等因素可将目标类型区分为四类: 1) 小型目标, 如机载导弹、隐身飞机; 2) 大型目标, 如轰炸机、歼击轰炸机; 3) 武装直升机; 4) 战术弹道导弹。

根据战术原则, 战术弹道导弹和上级指定拦截目标的威胁程度最大, 应优先拦截, 即进行威胁程度排序时应排在最前面。另外还要考虑目标的速度: 如 400m/s、720m/s、1600m/s 等; 目标的航向角: 如 5°、10°、15°等; 目标的干扰能力: 如强、中、弱、无; 目标的空袭样式: 如高空、中空、低空、超低空; 距

被保卫物距离：如(100km、150km、300km)等因素。

本例模拟来袭敌空中目标批有十六个目标，可首先依据敌目标的属性准则建立递阶的层次结构模型。层次结构分为3层：目标层、准则层和方案层，这里准则层只有一层，因此，准则层也就是属性层。如图1。

2.2 构造成对比较矩阵

敌空中目标的属性采用 G.A.Miler的9级量化理论^[7]进行量化。

空袭兵器类型：按小型目标、大型目标、武装直升机依次量化为8、5、3；目标的速度：按0~1800m/s等间隔(200m/s)依次量化为1~9；目标的航向角：按0°~36°等间隔(4°)依次量化为9~1；目标的干扰能力：按强、中、弱、无依次量化为8、6、4、2；目标的空袭样式：按高空、中空、低空、超低空依次量化为

2、4、6、8；距被保卫物距离：按0~450km等间隔(50km)依次量化为9~1。

空袭兵器类型、目标的速度、目标的航向角、目标的干扰能力、目标的空袭样式、保卫物距离等定性的目标属性量化值分别为8、9、7、5、6、4。具体数值如表1。

根据敌空中目标各属性的量化值，则可分别得到准则层成对比较矩阵A和方案层成对比较矩阵B₁，B₂，B₃，B₄，B₅，B₆。

2.3 计算层次单排序的权值和一致性检验

计算成对比较矩阵A最大特征值

$$\lambda_{\max} = 6.2518$$

该特征值对应的归一化向量

$$w = \begin{bmatrix} 0.23923 \\ 0.46085 \\ 0.16598 \\ 0.042054 \\ 0.062408 \\ 0.02949 \end{bmatrix}$$

则

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{6.2518 - 6}{6 - 1} = 0.050352$$

查表^[8]得 RI = 1.26。故

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.050352}{1.26} = 0.039962 < 0.1$$

表明 A 通过了一致性检验。

对成对比较矩阵 B₁，B₂，B₃，B₄，B₅，B₆进行一致性检验，结果如表 2。

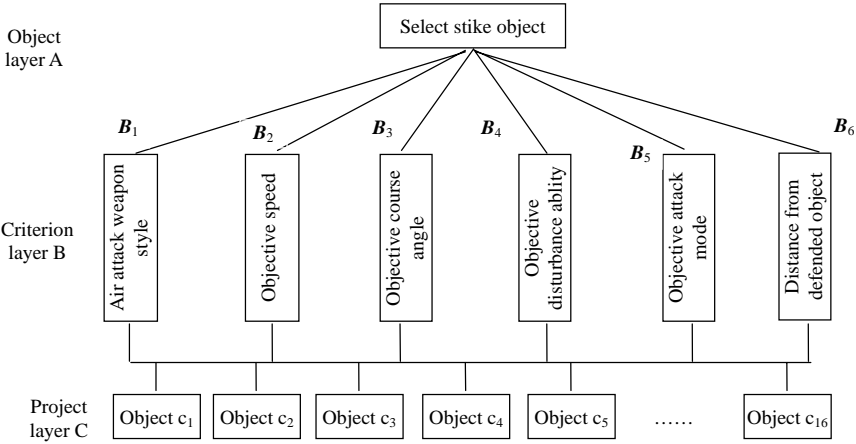


图 1 递阶层次结构模型

Fig.1 Step-by-step hierarchy model

表 1 敌空中目标的属性

Table 1 Attribute of the enemy air attack targets

Attribute Value Object	Weapon style	Speed / (m/s)	Course angle/(°)	Disturbance ability	Attack mode	Distance /km
Object1 c ₁	Large	400	5	Strong	Middle altitude	100
Object 2 c ₂	Large	720	8	Strong	Middle altitude	150
Object 3 c ₃	Small	1600	3	Naught	Low altitude	300
Object 4 c ₄	Small	1200	5	Naught	Low altitude	260
Object 5 c ₅	Large	280	10	Weak	Ultralow altitude	140
Object 6 c ₆	Gunship	100	15	Naught	Ultralow altitude	120
Object 7 c ₇	Large	500	18	Middle	Middle altitude	260
Object 8 c ₈	Large	370	20	Strong	Low altitude	290
Object 9 c ₉	Small	400	12	Middle	Low altitude	300
Object 10 c ₁₀	Large	230	22	Naught	Middle altitude	350
Object 11 c ₁₁	Gunship	80	9	Naught	Low altitude	100
Object 12 c ₁₂	Small	180	8	Naught	High altitude	180
Object 13 c ₁₃	Large	280	17	Strong	High altitude	210
Object 14 c ₁₄	Large	420	3	Middle	Middle altitude	290
Object 15 c ₁₅	Small	600	18	Weak	Low altitude	320
Object 16 c ₁₆	Large	180	2	Naught	Ultralow altitude	250

表 2 层次单排序一致性检验结果

Table 2 Consistency check result of hierarchy single sorting

λ_k	16.172	16.283	16.336	16.412	16.405	16.267
CI_k	0.011471	0.018865	0.022419	0.027477	0.02698	0.017774
CR_k	0.0071692	0.011791	0.014012	0.017173	0.016863	0.011109

可以求得层次单排序的权值, 见表 3, 由 CR_k 可知 $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$ 通过一致性检验。

2.4 计算层次总排序权值和一致性检验

这里由于准则层与属性层相同, 则属性对准则的贡献系数均为 1, 则根据积因子法, 由矩阵运算求得层次结构矢量

$$\begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \gamma_4 \\ \gamma_5 \\ \gamma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.23923 \\ 0.46085 \\ 0.16598 \\ 0.042054 \\ 0.062408 \\ 0.02949 \end{bmatrix}$$

决策层对总目标的权向量为

$$W_i = w_{i1}^{\gamma_1} w_{i2}^{\gamma_2} w_{i3}^{\gamma_3} w_{i4}^{\gamma_4} w_{i5}^{\gamma_5} w_{i6}^{\gamma_6} \quad (i=1,2,\dots,16)$$

其中 $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{i6}$ 为方案层对准则层的权重值, 具体数值见表 3。

而

$$CI_{\text{sum}} = \begin{bmatrix} 0.0115 \\ 0.0189 \\ 0.0224 \\ 0.0275 \\ 0.0270 \\ 0.0178 \end{bmatrix}$$

$$CR_{\text{sum}} = \frac{\sum_{j=1}^m b_j CI_j}{\sum_{j=1}^m b_j RI_j} = 0.0116 < 1$$

故, 层次总排序通过一致性检验。则可得到各方案的权重排序为:

$$c_3 > c_4 > c_2 > c_{15} > c_9 > c_1 > c_{14} > c_7 > c_{12} > c_{16} > c_8 > c_5 > c_{11} > c_{13} > c_6 > c_{10}$$

指挥员可根据排序情况对敌来袭目标划分出威胁等级, 本例中在作决策判断时应优先考虑打击目标 c_3 , 与专家给出的排序结果相符。

表 3 层次单排序及总排序权值列表

Table 3 Listing of hierarchy single sorting and whole sorting

Layer B layer C	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	Whole sorting
	0.23923	0.46085	0.16598	0.042054	0.062408	0.02949	
c_1	0.035376	0.040104	0.09444	0.14764	0.027721	0.14326	0.048083
c_2	0.035376	0.097978	0.060825	0.14764	0.027721	0.094995	0.06665
c_3	0.13026	0.27522	0.14256	0.01629	0.065931	0.061377	0.16031
c_4	0.13026	0.17493	0.09444	0.01629	0.065931	0.037627	0.11976
c_5	0.035376	0.022848	0.03883	0.03705	0.15102	0.094995	0.033171
c_6	0.015148	0.022848	0.024772	0.01629	0.15102	0.14326	0.024575
c_7	0.035376	0.065759	0.016326	0.073763	0.013488	0.037627	0.040283
c_8	0.035376	0.040104	0.016326	0.14764	0.065931	0.022873	0.03593
c_9	0.13026	0.040104	0.03883	0.073763	0.065931	0.022873	0.055039
c_{10}	0.035376	0.022848	0.016326	0.01629	0.027721	0.015474	0.023665
c_{11}	0.015148	0.022848	0.060825	0.01629	0.065931	0.14326	0.027089
c_{12}	0.13026	0.022848	0.060825	0.01629	0.013488	0.022873	0.038889
c_{13}	0.035376	0.022848	0.024772	0.14764	0.013488	0.022873	0.026909
c_{14}	0.035376	0.040104	0.14256	0.073763	0.027721	0.037627	0.048071
c_{15}	0.13026	0.065759	0.024772	0.03705	0.065931	0.061377	0.064167
c_{16}	0.035376	0.022848	0.14256	0.01629	0.15102	0.037627	0.038694

3 排序结果对比分析

积因子法对上例的排序结果如下:

6 Targets: $c_3 > c_4 > c_2 > c_1 > c_5 > c_6$

7 Targets: $c_3 > c_4 > c_2 > c_1 > c_7 > c_5 > c_6$

8 Targets: $c_3 > c_4 > c_2 > c_1 > c_7 > c_8 > c_5 > c_6$

9 Targets: $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > c_1 > c_7 > c_8 > c_5 > c_6$

10 Targets: $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > c_1 > c_7 > c_8 > c_5 > c_6 > c_{10}$

11 Targets: $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > c_1 > c_7 > c_8 > c_5 > c_{11} > c_6 > c_{10}$

12 Targets: $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > c_1 > c_7 > c_{12} > c_8 > c_5 > c_{11} > c_6 > c_{10}$

13 Targets: $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > c_1 > c_7 > c_{12} > c_8 > c_5 > c_{11} > c_{13} > c_6 > c_{10}$

14 Targets: $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > c_1 > c_{14} > c_7 > c_{12} > c_8 > c_5 > c_{11} > c_{13} > c_6 > c_{10}$

15 Targets: $c_3 > c_4 > c_2 > c_{15} > c_9 > c_1 > c_{14} > c_7 > c_{12} > c_8 > c_5 > c_{11} > c_{13} > c_6 > c_{10}$

16 Targets: $c_3 > c_4 > c_2 > c_{15} > c_9 > c_1 > c_{14} > c_7 > c_{12} > c_{16} > c_8 > c_5 > c_{11} > c_{13} > c_6 > c_{10}$

而传统的层次分析法对上例排序结果如下:

6 Targets : $c_3 > c_4 > c_2 > c_1 > c_5 > c_6$

7 Targets : $c_3 > c_4 > c_2 > c_1 > \mathbf{c_5} > \mathbf{c_7} > c_6$

8 Targets : $c_3 > c_4 > c_2 > c_1 > \mathbf{c_5} > \mathbf{c_7} > \mathbf{c_8} > c_6$

9 Targets : $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > c_1 > c_7 > \mathbf{c_5} > \mathbf{c_8} > c_6$

10 Targets : $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > c_1 > c_7 > \mathbf{c_5} > \mathbf{c_8} > c_6 > c_{10}$

11 Targets : $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > c_1 > c_7 > \mathbf{c_5} > \mathbf{c_8} > c_{11} > c_6 > c_{10}$

12 Targets : $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > c_1 > \mathbf{c_{12}} > \mathbf{c_7} > c_8 > c_5 > c_{11} > c_6 > c_{10}$

13 Targets : $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > c_1 > \mathbf{c_{12}} > \mathbf{c_7} > c_8 > c_5 > c_{11} > \mathbf{c_6} > \mathbf{c_{13}} > c_{10}$

14 Targets : $c_3 > c_4 > c_2 > c_9 > \mathbf{c_{14}} > \mathbf{c_{12}} > \mathbf{c_1} > \mathbf{c_7} > \mathbf{c_5} > \mathbf{c_8} > c_{11} > \mathbf{c_6} > \mathbf{c_{13}} > c_{10}$

15 Targets : $c_3 > c_4 > c_2 >_{15} > c_9 > \mathbf{c_{14}} > \mathbf{c_1} > \mathbf{c_{12}} > \mathbf{c_7} > c_5 > \mathbf{c_8} > c_{11} > \mathbf{c_6} > \mathbf{c_{13}} > c_{10}$

16 Targets : $c_3 > c_4 > c_2 >_{15} > c_9 > \mathbf{c_{14}} > \mathbf{c_1} > \mathbf{c_{12}} > c_{16} > \mathbf{c_7} > \mathbf{c_8} > c_5 > c_{11} > \mathbf{c_6} > \mathbf{c_{13}} > c_{10}$

上述各式中加粗、加大的目标为逆序排序值。

通过上面的分析不难看出,用传统的层次分析法进行空中目标威胁排序,随着目标的增加,逆序问题越来越严重。其原因一是决策方法集合的封闭性,二是选择决策方案的方法对决策方案集合的依赖性。传统层次分析法是针对特定不变的方案集合而言的,方案集合是封闭的。相对测量方法,增加或减少方案时,改变了方案集合,方案集合变成开放的了。绝对测量方法,测量档次增加或减少,可供选择的集合也改变了,可供选择的集合也变成开放的了。积因子法与传统的层次分析方法不同,对任意两个方案,设其属性值分别为 $(x_1(1), x_2(1), \dots, x_r(1))$ 和 $(x_1(2), x_2(2), \dots, x_r(2))$, 则在积因子法中,当属性向量的分量线性变化时,同一准则两个方案的重要性值之比保持不变,即

$$\frac{f(k_1 x_1(1), \dots, k_r x_r(1))}{f(k_1 x_1(2), \dots, k_r x_r(2))} = \frac{f(x_1(1), \dots, x_r(1))}{f(x_1(2), \dots, x_r(2))}$$

在积因子法中,如果属性值是通过方案的比较而得到,则它们之间的比值不会因方案的增加和减少而改变。如果属性值不是通过方案之间的比较而得到,则它们的值与方案无关。所以,增加或减少决策方案时,决策方案之间的比值不会改变,故对同一准则,增加或减少决策方案不会改变决策方案之间的优劣顺序。另外,在线性改变方案属性的度量单位时,对同一准则,决策方案之间的比值不会改变,故对同一准则,度量属性的值线性放大或缩小不会改变决策方案之间的优劣顺序。

4 结 论

采用积因子法对敌空中目标进行威胁评估和排序,优点是数据量小、计算简便,特别在军用指挥控制系统这种实时性、快速性要求较高的环境里,这种方法能够确保防空作战的效率。另外,积因子法有效地结合了专家经验,把定性分析与定量分析相结合进行决策分析,适用于在战场上复杂多变的多准则决策问题。对于处于某一点上的防空武器系统的作战单元,用积因子法进行威胁评估和排序可迅速做出敌来袭目标对我保卫目标或区域的威胁等级判断,为目标和火力的分配提供有效的支持,从而使指挥员做出快速、准确的应对措施。

参考文献:

- [1] Keller J, Lebiere C, Shay R. Cockpit system situational awareness modelling tool[A]. **Proceedings of the Fifth Human Performance, Situation Awareness and Automation Conference**[C]. Daytona Beach, FL, 2004.
- [2] Paul Gonsalves. Decision Support System for Theater Missile Defense[J]. **SPIE**, 2003, **5096**: 473-481.
- [3] 刘曙阳,程万祥. C^3I 系统开发技术[M]. 北京:国防工业出版社, 1999.
LIU Shu-yang, CHENG Wang-xiang. **Development Technology of C^3I System**[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999.
- [4] 何友,王国宏. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2000.
HE You, WANG Guo-hong. **Multisensor Information Fusion with Application**[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000.

(下转第 141 页)

效果理想。

4 结 论

本文提出的 X 射线射束硬化校正,通过对射束和曲线拟合,推出等效透射厚度的拟合计算,进一步提出了 X 射线的等效射束和 Beer 定律拟合方程,以及等效单色衰减系数拟合值,该方法有效地消除了射束硬化对图像重建结果的影响,原理简单,容易实现,同时由于拟合值采用最小二乘法拟合,而最小二乘法拟合值是最小方差无偏估计值,因此对信息损失很小。

入射强度随能量的分布函数 $I_0(E)$ 与 E 的关系随 X 射线管电压不同而变化,需要通过实验测定。 $I_0(E)$ 与 E 的关系可参考相关文献[2][3]。对此,我们将做进一步的研究。希望本文有助于 X 射线 TICT 的射束硬化校正和优化设计,提高图象质量。

参考文献:

- [1] Barbara R. Krohn, Michael D. Silver. Optimizing Contrast Resolution in Industrial Computed Tomographic Scanners[J]. **Materials Evaluation**, 1990, **49**(10): 1296-1331.
- [2] Rogerio Ferreira de Paiva, John Lynch, Elisabeth Rosenberg, et al. A beam hardening correction for X-ray microtomography[J]. **NDT&International**, 1998, **31**(1): 17-22.
- [3] R. Hanke, F. Bobel. Determination of material flaw size by intensity evaluation of polychromatic X-ray transmission[J]. **NDT&E International**, 1992, **25**(2): 87-93.
- [4] 魏 彪,周 密,米德伶,等. 一种计算机层析成像用 X 光高分辨探测器技术[J]. 光电工程, 2003, **30**(5): 44-47.
WEI Biao, ZHOU Mi, MI De-ling, et al. An X-ray High-Resolution Detector Technique for Computer Tomography[J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2003, **30**(5): 44-47.
- [5] M.J.Guy, I.A.Castellano-Smith, M.A. Flower, et al. DETECT-Dual Energy Transmission Estimation CT- for improved attenuation correction in SPECT and PET[J]. **IEEE Transaction on Nuclear Science**, 1998, **45**(3): 1261-1265.
- [6] 彭光含. 连续谱 X 射线 ICT 中的能谱硬化与散射修正[D]. 重庆: 重庆大学数理学院, 2004.
PENG Guang-han. Correction of Hardening of Energy Spectrum And Scattering for Continuous Spectrum X-ray ICT[D]. Chongqing: College of Science, Chongqing University, 2004.
- [7] 张李明, 魏彩屏, 郑世荣. 康普顿背散射图象重建技术[J]. 中国科学技术大学学报, 1996, **26**(4): 510-514.
ZHANG Li-ming, WEI Cai-ping, ZHENG Shi-rong. Image Reconstruct Technique by Compton Back-scattering[J]. **Journal of University of Science and technology of China**, 1996, **26**(4): 510-514.

~~~~~  
(上接第 21 页)

- [5] Lawrence A.K. **Sensor and Data Fusion Concepts and Applications**[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2004.
- [6] 刘同明, 夏祖勋, 解洪成. 数据融合技术及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.  
LIU Tong-ming, XIA Zu-xun, XIE Hong-cheng. **Data Fusion Techniques and Its Application**[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003.
- [7] 魏世效, 周献中. 多属性决策理论方法及其在 C<sup>3</sup>I 系统中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.  
WEI Shi-xiao, ZHOU Xian-zhong. **Approach of Multiattribute Decision - Theoretic and Its Application in the C<sup>3</sup>I System** [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1998.
- [8] 中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会. 国防系统分析方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.  
The Committee of Drill Teaching Material of the General Equipment Department of the CPLA. **Analyse Methods of National Defence System** [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003.