

改进的突变理论在弹药包装性能评估中的应用

李海广, 安振涛, 王 阵, 甄建伟

(军械工程学院, 石家庄 050003)

摘要:为了更好地对弹药包装性能进行综合评估,建立了一种基于改进的突变理论的评估方法。介绍了突变理论的基本原理,并通过分析突变理论评估法存在的缺陷,对其进行了改进,最后结合实例进行了应用。该方法计算简单、可靠性高,为评估弹药包装性能提供了一种新的思路。

关键词: 突变理论; 弹药包装; 评估

中图分类号: TB489; E237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)21-0134-03

Application of Improved Catastrophe Theory in Ammunition Packaging Performance Evaluation

LI Hai-guang, AN Zhen-tao, WANG Zhen, ZHEN Jian-wei

(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: In order to evaluate ammunition packaging performance comprehensively and accurately, an evaluation method based on improved catastrophe theory was established. The basic principle of catastrophe theory was introduced, and a transform method was established to overcome its limitation. Finally the improved catastrophe theory was used in analyzing the practical example. It was concluded that the method is simple and reliable, and it provides a new idea to evaluate ammunition packaging performance.

Key words: catastrophe theory; ammunition packaging; evaluation

弹药包装作为弹药的有机组成部分,其性能关系着弹药的储运质量与安全,更关系着弹药保障效率的提高,因而有必要对弹药包装性能进行合理评估。传统的弹药包装性能主要靠设计时的包装试验来测定,而部队实际保障过程中凭经验和感性认识去分析的情况较多,不能给予弹药包装性能状况一个客观的评定。目前广泛使用的评估方法,如安全检查表法、模糊综合法、灰色关联分析、神经网络等,这些方法中有些对权重难以正确处理,有的则计算起来过于繁琐^[1]。突变理论评估法无需进行权重确定,仅需对各评估指标按相对重要程度进行排序,定性与定量相结合,方法简单易行,结果准确客观。目前已在矿业安全、水利、经济等领域得到了应用。

1 突变理论评估法的基本原理

突变理论(catastrophe theory)是由法国数学家雷

勒·托姆(Rene Thom)于20世纪70年代创立的^[2]。突变理论研究动态系统在连续发展变化过程中出现的不连续突变现象及其与连续变化因素之间的关系。它是建立在拓扑动力学和奇点理论基础之上的,虽其理论证明涉及的数学基础较深,但应用模型却较为简单。

1.1 突变理论评估的基本模型及其归一公式

一般所说的突变理论就是指初等突变理论。它主要研究势函数,并根据势函数对临界点进行分类,进而研究临界点附近的不连续特征。通过对分类临界点附近的状态变化特征的研究,归纳出7种初等突变模型,常见的主要有4种。

归一公式作为应用突变理论进行综合评估的基本运算公式,将系统内各控制变量的不同质态归化为可比较的同一种质态,进而对系统进行递归运算,求出表征系统状态特征的总突变隶属函数值,以此作为综合评估的依据。归一公式的导出首先要针对势函

数 $V(x)$, 由 $V'(x) = 0$ 和 $V''(x) = 0$ 消去 x , 得到突变系统的分歧点集方程, 然后通过分歧点集方程导出归一公式^[3], 常见的突变模型及其归一公式见表 1。

表 1 常见突变模型及其归一公式

Tab.1 Common catastrophe model and normalization formula

突变模型	势函数	归一公式
折叠突变	$V(x) = x^3 + ax$	$x_a = \sqrt{a}$
尖点突变	$V(x) = x^4 + ax^2 + bx$	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}$
燕尾突变	$V(x) = x^5/5 + ax^3/3 + bx^2/2 + cx$	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}$
蝴蝶突变	$V(x) = x^6/6 + ax^4/4 + bx^3/3 + cx^2/2 + dx$	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}, x_d = \sqrt[5]{d}$

表 1 中 x 为系统的状态变量, a, b, c, d 为系统的控制变量。当一个评估目标被分解为 1 个、2 个、3 个、4 个指标时, 应分别采用相应的归一公式来进行评估。由于各控制变量对状态变量的影响有强弱之分, 在应用时一般将主要控制变量写在前面, 次要控制变量写在后面。表 1 中控制变量的重要程度排序为: $a > b > c > d$ 。

1.2 突变理论评估的准则

根据评估指标(控制变量)间的性质不同, 利用突变理论进行综合评估时, 多采用“非互补”准则和“互补”准则。当系统的诸评估指标间不可相互弥补其不足时, 按“大中取小”原则从其对应的 x 值中取值; 反之, 当诸评估指标间可相互弥补其不足时, 取其对应 x 值的平均值。

2 突变理论的改进及评估步骤

2.1 突变理论的缺陷与改进

突变理论评估法虽然计算过程简单易行, 评估结果可靠, 但也存在着固有的缺陷。首先因评估指标间重要程度排序不同会导致评估结果存在一定的差异。最重要的是由于归一公式的聚集特点, 造成评估值过高, 且彼此间的差距较小, 不利于从直观上对评估对象进行“优”、“劣”的判定。

为克服突变理论的缺陷, 将突变理论评估法按归一公式得出的综合评估值转化为更具实用意义的综合评估值, 从以下两个方面进行改进。

1) 合理选择评估指标, 对指标重要程度进行科

学排序, 尽量避免其对评估结果的影响。这是建立评估指标体系时考虑的问题, 在此不重点论述。

2) 综合评估值的转换。文献[4]构造了一种转换方法: 在评估指标体系给定的前提下, 设当底层指标对应的隶属度值均取为 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 时, 由突变理论评估法进行计算, 得到其综合评估值为 $y_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 。当 n 足够多时, 即可建立起 y_i 与 x_i 之间的对应关系表。由 y_i 与 x_i 之间的对应关系表, 可将 y_i 值转换为对应的 x_i 值。由于各底层指标的隶属度取值具有习惯意义上的“优”、“劣”概念, 因此转换后的评估值也具有习惯意义上的“优”、“劣”概念。

2.2 评估步骤

根据以上分析, 运用改进的突变理论进行弹药包装性能评估应按以下步骤进行。

- 1) 构建科学合理的弹药包装性能评估指标体系, 并对各层次指标按重要程度进行排序。
- 2) 对底层指标(控制变量)进行原始数据规范化处理, 得到初始的模糊隶属函数值。
- 3) 确定指标体系各层的突变类型, 利用相应的归一公式, 并依照评估准则算出各层状态变量值, 最顶层状态变量即是总突变隶属函数值。
- 4) 对得到的总突变隶属函数值进行转换, 即得到改进后的综合评估值。

3 实例应用

3.1 构建弹药包装性能评估指标体系

根据相关调研结果, 并结合有关文献^[5-7], 从整体上构建如图 1 所示的弹药包装性能评估指标体系,

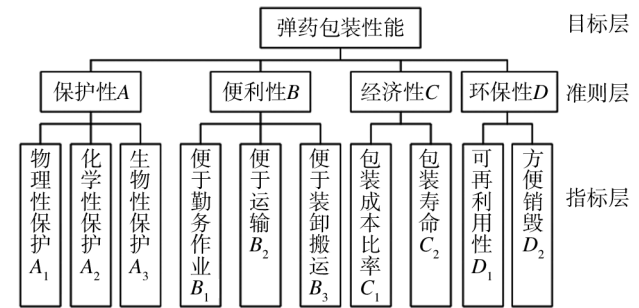


图 1 弹药包装性能评估指标体系

Fig.1 Evaluation index system of ammunition packaging performance

在此将评估因素划分为目标层、准则层和指标层 3 个

层次。图 1 中各个指标的先后顺序按指标的重要程度排列(指标的重要程度是在咨询多位专家和技术骨干的基础上得出的)。为便于评估,结合部队保障实际情况建立如表 2 所示的指标体系的评分区间。

表 2 指标体系的评分区间
Tab.2 Rating interval of index system

分数	0.9~1.0	0.75~0.9	0.6~0.75	0.5~0.6	0.0~0.5
评估结果	优秀	良好	一般	差	很差

3.2 底层指标突变级数值及中间指标变量值计算

按照构建的评估指标体系,针对某型弹药包装,聘请多位专家对底层指标(指标层指标)进行评分,并对评分结果进行规范化处理^[8],规范化处理结果见表 3。

表 3 规范化处理结果

Tab.3 Results of standardized processing

指标	A			B			C		D	
代号	A ₁	A ₂	A ₃	B ₁	B ₂	B ₃	C ₁	C ₂	D ₁	D ₂
处理结果	0.869	0.802	0.946	0.853	0.826	0.935	0.784	0.952	0.967	0.755

由图 1 知,保护性这一中间指标(准则层指标)由 3 个底层指标组成,因此可采用燕尾突变模型计算底层指标突变级数值。令 3 个底层指标的突变级数代号分别为 X_{A1}, X_{A2}, X_{A3} ,由归一公式得其突变级数值为(计算结果小数点后最多保留四位有效数字):

$$X_{A1} = \sqrt{0.869} = 0.9322, X_{A2} = \sqrt[3]{0.802} = 0.9291, X_{A3} = \sqrt[4]{0.946} = 0.9862$$

由于其底层指标间不存在相互关联作用,作用不可互相替代,则属于“非互补”型,应取最小值,可知中间指标保护性的变量值为:

$$X_A = \min(X_{A1}, X_{A2}, X_{A3}) = 0.9291$$

同理,利用突变理论的归一公式及评估准则,可得中间指标便利性、经济性和环保性的变量值分别为:

$$X_B = \min(X_{B1}, X_{B2}, X_{B3}) = 0.9236, X_C = (X_{C1}, X_{C2})/2 = 0.9346$$

$$X_D = \min(X_{D1}, X_{D2}) = 0.9106$$

3.3 总突变隶属函数值计算及处理

由于弹药包装性能总目标与 4 个中间指标构成“非互补”型蝴蝶突变模型,则令 X_1, X_2, X_3, X_4 分别为中间指标的突变级数代号,则其突变级数值为:

$$X_1 = 0.9639, X_2 = 0.9739, X_3 = 0.9832, X_4 = 0.9814$$

可得总突变隶属函数值为: $X = \min(X_1, X_2, X_3,$

$X_4) = 0.9639$

由于用突变理论得出的总突变隶属函数值过高,在此以图 1 所示的指标体系为基础,构造 y 与 x 的对应关系,见表 4。通过表 4 可将得到的总突变隶属函数值 0.9639 变换为 0.8632,因此参照表 2 可知此型弹药包装性能为“良好”等级。

表 4 x-y 对应关系

Tab.4 The table of corresponding relationship between x and y

x	y	x	y	x	y	x	y
1.00	1.0000	0.88	0.9685	0.70	0.9147	0.45	0.8190
0.98	0.9949	0.86	0.9630	0.66	0.9013	0.40	0.7953
0.96	0.9898	0.83	0.9545	0.62	0.8874	0.30	0.7401
0.94	0.9846	0.80	0.9457	0.58	0.8727	0.20	0.6687
0.92	0.9794	0.77	0.9367	0.54	0.8572	0.10	0.5623
0.90	0.9740	0.74	0.9275	0.50	0.8409	0.00	0.0000

4 结语

弹药包装性能状况对弹药的储运、勤务处理等保障活动具有重要影响,其本身也是一个模糊的概念,很难用公式进行准确的定量表述。同时突变理论评估法相对于模糊综合评价等方法来说,仅考虑各评估指标的相对重要程度,未对指标进行权重确定,从而减小了主观性,使评估更趋于客观准确,因此用突变理论评估法对弹药包装性能进行评估是合理的。此外,借鉴有关文献的思想,设计了一套变换方法,用以改进突变理论评估结果较高的缺点,使其更具有实用价值。

突变理论评估法虽有计算简便快捷,易于编程等优点,但突变理论评估法对于各层指标的个数有严格要求,最多不能超过 4 个。若多于 4 个时,须用数理方法对指标进行剔除和合并。

参考文献:

[1] 周荣义,黎忠文,牛会永. 基于突变理论的油库火灾爆炸分析与模糊动态评价[J]. 中国安全科学学报,2006,16(6):97-101.
ZHOU Rong-yi, LI Zhong-wen, NIU Hui-yong. Analysis of Fire and Explosion and Fuzzy Dynamic Safety Assessment for Oil Depot Based on Mutation Theory[J]. China Safety Science Journal,2006,16(6):97-101.

- national Society for Optical Engineering, USA, 2004.
- [13] 三泽玲司. 处理防复印伪造图案图像数据的图像处理装置; 中国, CN200910137600. 1 [P]. 2009-05-18.
San Ze Ling Si. The Image Processing Apparatus of Handling Copy-forgery-inhibited Pattern Image Data; China, CN200910137600. 1 [P]. 2009-05-18.
- [14] 科技日报. 防复印油墨在法问世[J]. 国外科技动态, 2004(8):45.
Science and Technology Daily. Anti-copying Ink Come out in France. Recent Developments in Science & Technology Abroad, 2004(8):45.
- [15] 孙家跃, 杜海燕. 防复印膜及其制备方法; 中国, CN200910090051 [P]. 2009-07-30.
SUN Jia-yue, DU Hai-yan. Anti-copy Film and its Preparation Method; China, CN200910090051 [P]. 2009-07-30.
- [16] 天津环球磁卡股份有限公司. 纸张防复印的制造方法; 中国, CN201010540249. 3 [P]. 2010-11-11.
Tianjin Global Magnetic Card Limited Company. The manufacturing Method to Anti-copying of the Paper; China, CN201010540249. 3 [P]. 2010-11-11.
- [17] 张井华, 杨丽. 纸张用防复印技术研究[J]. 天津造纸, 2010(2):13-15.
ZHANG Jing-hua, YANG Li. Paper with the Anti-copying Technology Research [J]. Tianjin Paper Making, 2010(2):13-15.
- [18] 张岩, 吴超. 防复印技术及其研究进展[J]. 安防科技, 2010(10):15-18.
ZHANG Chao, WU Chao. Anti-copying Technology and Research Progress [J]. Security and Safty Technology Magazine, 2010(10):15-18.
- [19] 防复印纸、防泄密纸[J]. 中国造纸, 2009(3):70.
Anti-copy Paper and Anti-telltale paper [J]. China Pulp & Paper, 2009(3):70.
- [20] PHILLIPS, GEORGE K. Document Security System Having Thermo-Activated Pantograph and Validation Mark; USP, 5873604 [P]. 1996-02-16.
- [21] 陈港, 谢国辉. 防伪纸张及其防伪技术[J]. 防伪技术, 2001(4):65-68.
CHEN Gang, XIE Guo-hui. Anti-copying Paper and Anti-counterfeiting Technology [J]. Anti-counterfeiting Technology, 2001(4):65-68.

(上接第 136 页)

- [2] 都兴富. 突变理论在经济领域的应用[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1994.
DU Xing-fu. The Application of Catastrophe Theory in Economic Field [M]. Chengdu: University of Electric Science and Technology of China, 1994.
- [3] 李继清, 张玉山, 纪昌明, 等. 突变理论在长江流域洪灾综合风险社会评价中的应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2007, 40(4):26-30.
LI Ji-qing, ZHANG Yu-shan, JI Chang-ming, et al. Application of Catastrophe Theory to Social Assessment of Integrated Flood Disaster Risks in Yangtze River [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2007, 40(4):26-30.
- [4] 施玉群, 刘亚莲, 何金平. 关于突变评价法几个问题的进一步研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2003, 36(4):132-136.
SHI Yu-qun, LIU Ya-lian, HE Jin-ping. Further Study on Some Questions of Catastrophe Evaluation Method [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2003, 36(4):132-136.
- [5] 军械工程学院. 军械包装工程[M]. 石家庄: 军械工程学院, 2007.
Ordnance Engineering College. Ordnance Packaging Engineering [M]. Shijiazhuang: Ordnance Engineering College, 2007.
- [6] 张则敏, 刘琪琳. 导弹装备包装对性能的影响与对策[J]. 装备环境工程, 2008, 5(4):74-78.
ZHANG Ze-min, LIU Qi-lin. Influence of the Packaging on Missile Performance and the Countermeasure [J]. Equipment Environmental Engineering, 2008, 5(4):74-78.
- [7] 张春和, 吴志斌, 赵复涛. 装备器材包装质量评价指标与评价方法探讨[J]. 包装工程, 2012, 33(3):137-141.
ZHANG Chun-he, WU Zhi-bin, ZHAO Fu-tao. Research on Evaluation Index and Method of Materiel Packaging Quality [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(3):137-141.
- [8] 曾正, 杨欢, 赵荣祥. 基于突变决策的分布式发电系统电能质量综合评估[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(21):52-57.
ZENG Zheng, YANG Huan, ZHAO Rong-xiang. A Catastrophe Decision Theory Based Quality Comprehensive Evaluation Method for Distributed Generation System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(21):52-57.