

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.09.002

## 基于可拓分析与变换的导弹武器系统效能研究

张金春<sup>1</sup>, 金哲<sup>2</sup>, 王丰<sup>3</sup>, 李日华<sup>1</sup>

(1. 海军航空工程学院基础部系统科学与数学研究所, 山东 烟台 264001;

2. 海军航空工程学院科研部, 山东 烟台 264001; 3. 海军航空工程学院研究生 4 队, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 为提高导弹武器系统的效能, 对基于可拓分析与变换的导弹武器系统效能进行研究。通过建立导弹武器系统效能的物元模型, 利用可拓学中的发散、相关分析和共轭分析原理对导弹武器系统的效能结构、组成和性能进行分析与研究, 将蕴含分析、共轭变换原理和可拓推理运用于提高导弹武器系统效能的分析与研究中。结果表明: 该方法能实现效能分析的符号化和形式化, 使效能分析的层次更加清晰, 为寻求提高导弹武器系统效能的途径提供了一种新思路。

**关键词:** 导弹武器系统; 效能; 可拓分析; 共轭变换

**中图分类号:** TJ760 **文献标志码:** A

## Study on Efficiency of Missile Weapon System Based on Extension Analysis and Transformation

Zhang Jinchun<sup>1</sup>, Jin Zhe<sup>2</sup>, Wang Feng<sup>3</sup>, Li Rihua<sup>1</sup>

(1. Institute of Systems Science & Mathematics, Dept. of Basic Theory, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China; 2. Dept. of Scientific & Research, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China; 3. No. 4 Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** To enhance the efficiency of the missile weapon system, this author studies on efficiency of the missile weapon system based on extension analysis and transformation. By building matter-element model of missile weapon system effectiveness, it deals with efficiency structure, composing and capability of missile weapon systems with divergent analysis theory, correlated analysis theory and conjugate analysis theory. It analyses and researches the missile weapon system effectiveness with contained analysis theory and conjugate transformation theory. The result proves that the method can make analysis signifying and formalization and make arrangement of analysis clearer, supplying a new way for seeking the approach of enhancing missile weapon system effectiveness.

**Keywords:** missile weapon system; effectiveness; extension analysis; conjugate transformation

### 0 引言

可拓分析与可拓变换是可拓学<sup>[1]</sup>用于分析和解决矛盾问题所采用的基本分析原理与方法。可拓分析包括发散、蕴含、相关和共轭分析等, 通过建立物元模型, 应用可拓分析可以使人们对物进行形式化的分析, 更全面地了解物的结构, 使分析的层次更加清晰、逻辑性更强。利用可拓变换中的共轭(虚实、软硬、潜显和负正)变换, 可以根据共轭部在一定条件下相互转化的性质, 有针对性地采取相应措施去达到预定的目标。将可拓分析与变换用于提高导弹武器系统效能的分析与研究, 可以为人们提供一种寻求提高导弹武器系统效能的新途径。文献[2]利用可拓变换初步研究了提高导弹命中概率的方法。在此基础上, 笔者通过建立导弹武器系统效能的物元模型, 运用发散、相关分析和共轭分析原理初步分析了导弹武器系统效能的结构<sup>[3]</sup>, 运用虚实、

软硬的共轭分析与变换方法以及可拓推理, 对提高导弹武器系统的效能做进一步的分析与研究。

### 1 导弹武器系统效能的可拓分析与虚实共轭变换

在对导弹武器系统的分析中, 虚实共轭分析与变换原理可以用来研究效能(虚部)与导弹(实部)之间的相互关系。从导弹武器系统的物质性考虑, 导弹的动力装置、弹体和战斗部等物质性的部分是导弹武器系统的实部, 而导弹的制导精度、生存概率和杀伤概率等非物质性的部分是导弹武器系统的虚部。利用虚部与实部的相关性和在一定条件下的相互转化性, 可以通过对实部实施变换来达到对虚部的变换, 或通过对虚部实施变换来达到对实部的变换。因此, 虚实共轭分析方法为导弹武器系统的生存和杀伤概率等能力的改善, 提供了一种特殊的研究方法。

收稿日期: 2011-05-27; 修回日期: 2011-06-20

作者简介: 张金春(1960—), 男, 辽宁人, 硕士, 教授, 从事系统分析与集成研究。

1.1 导弹武器系统效能的结构与可拓分析

导弹武器系统的效能由可用性、可信性和能力构成。能力由突防与生存概率、发现概率和杀伤概率决定<sup>[3]</sup>。建立导弹武器系统效能的物元模型为

$$M_{im} = (\text{导弹武器系统, 效能, } M_{效}) \triangleq (N, c_{效}, M_{效})$$

其中： $M_{im}$  表示虚部物元。利用发散分析原理，对导弹武器系统的效能进行发散分析

$$M_{im} \dashv \{(N, c_{im1}, v_{im1}), (N, c_{im2}, v_{im2}), (N, c_{im3}, v_{im3})\} \triangleq \{M_{im1}, M_{im2}, M_{im3}\} \quad (1)$$

其中： $c_{im1}$  为可用性； $c_{im2}$  为可信性； $c_{im3}$  为能力。

对导弹武器系统的可用性、可信性和能力进行发散和相关分析，有

$$M_{im1} \dashv \{(N, c_{im11}, v_{im11}), (N, c_{im12}, v_{im12})\} \triangleq \{M_{im11}, M_{im12}\} \quad (2)$$

$$M_{im2} \sim M_{im12} \quad (3)$$

其中： $c_{im11}$  为维修性； $c_{im12}$  为可靠性。

$$M_{im3} \dashv \{(N, c_{im31}, v_{im31}), (N, c_{im32}, v_{im32}), (N, c_{im33}, v_{im33})\} \triangleq \{M_{im31}, M_{im32}, M_{im33}\} \quad (4)$$

其中： $c_{im31}$  为突防与生存概率； $c_{im32}$  为发现概率；

$c_{im33}$  为杀伤概率。

构成导弹武器系统的导弹<sup>[4]</sup>，其实部物元为

$$M_{re} = \begin{pmatrix} N, & \text{弹体}, & v_{re1} \\ & \text{飞行控制系统}, & v_{re2} \\ & \text{动力装置}, & v_{re3} \\ & \text{战斗部}, & v_{re4} \\ & \text{其它分系统}, & v_{re5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N, & c_{re1}, & v_{re1} \\ c_{re2}, & v_{re2} \\ c_{re3}, & v_{re3} \\ c_{re4}, & v_{re4} \\ c_{re5}, & v_{re5} \end{pmatrix} \triangleq \begin{pmatrix} M_{re1} \\ M_{re2} \\ M_{re3} \\ M_{re4} \\ M_{re5} \end{pmatrix} \circ$$

根据发散分析原理，有

$$M_{re2} \dashv \{(N, c_{re21}, v_{re21}), (N, c_{re22}, v_{re22}), (N, c_{re23}, v_{re23})\} \triangleq \{M_{re21}, M_{re22}, M_{re23}\} \quad (5)$$

$$M_{re4} \dashv \{(N, c_{re41}, v_{re41}), (N, c_{re42}, v_{re42}), (N, c_{re43}, v_{re43})\} \triangleq \{M_{re41}, M_{re42}, M_{re43}\} \quad (6)$$

其中： $c_{re21}$  为姿态稳定系统； $c_{re22}$  为制导装置； $c_{re23}$  为其它组成系统； $c_{re41}$  为壳体； $c_{re42}$  为装药； $c_{re43}$  为引爆装置。

1.2 传导变换与虚实共轭变换

对姿态稳定系统，制导装置和引爆装置(实部物元)的量值做主动变换

$$T_{v_{re21}} v_{re21} = v_{re21}', \quad T_{v_{re22}} v_{re22} = v_{re22}', \quad T_{v_{re43}} v_{re43} = v_{re43}'。$$

它们对导弹武器系统的可用性、可信性和能力都将产生影响，为方便起见，这里仅考虑其对导弹武器系统的能力所引起的变换。根据相关与蕴含分析原理，有传导变换

$$T_{v_{re21}} \wedge T_{v_{re22}} \Rightarrow (v_{re21}, v_{re22}) T_{v_{re2}}, \quad T_{v_{re43}} \Rightarrow v_{re43} T_{v_{re4}},$$

使  $(v_{re21}, v_{re22}) T_{v_{re2}} v_{re2} = v_{re2}'$ ， $v_{re43} T_{v_{re4}} v_{re4} = v_{re4}'$ 。

这一变换又将导致效能(虚部物元  $M_{im}$ ) 发生改变。

由这种虚实共轭变换，可实现提高导弹武器系统效能的目的。这一虚实共轭分析所形成的可拓推理知识<sup>[5-6]</sup>可表述为

$$\begin{aligned} & [(T_{v_{re21}} v_{re21}) \wedge (T_{v_{re22}} v_{re22}) \wedge (T_{v_{re43}} v_{re43})] \wedge \\ & \left[ \begin{matrix} M_{re21} \\ M_{re22} \end{matrix} \sim M_{re2} \right] \sim \left\{ (N, c_{im31}, v_{im31}) \right\} \sim \\ & \left[ \begin{matrix} M_{re43} \\ M_{re4} \end{matrix} \sim M_{re4} \right] \sim \left\{ (N, c_{im33}, v_{im33}) \right\} \sim \\ & (N, c_{im3}, v_{im3}) \sim (N, c_{效}, M_{效}) \Big| = \\ & \left[ \begin{matrix} T_{v_{re21}} \wedge T_{v_{re22}} \Rightarrow (v_{re21}, v_{re22}) T_{v_{re2}} \\ T_{v_{re43}} \Rightarrow v_{re43} T_{v_{re4}} \end{matrix} \right] \Rightarrow \\ & \left[ \begin{matrix} (v_{re2}, v_{re4}) T_1 \\ (v_{re2}, v_{re4}) T_2 \end{matrix} \right] \Rightarrow_{(1,2)} T_3 \Rightarrow_3 T_4 \quad (7) \end{aligned}$$

其中

$$(v_{re2}, v_{re4}) T_1 (N, c_{im31}, v_{im31}) = (N, c_{im31}, v_{im31}')$$

$$(v_{re2}, v_{re4}) T_2 (N, c_{im33}, v_{im33}) = (N, c_{im33}, v_{im33}')$$

且  $v_{im31}' > v_{im31}$ ， $v_{im33}' > v_{im33}$ ，进而

$$(1,2) T_3 (N, c_{im3}, v_{im3}) = (N, c_{im3}, v_{im3}')$$

且  $v_{im3}' > v_{im3}$ ，于是

$${}_3 T_4 (N, c_{效}, M_{效}) = (N, c_{效}, M_{效}')$$

且  $M_{效}' > M_{效}$ 。即通过采用先进技术, 改进姿态稳定系统、制导系统和引爆装置(实部)的性能, 由传导变换, 使飞行控制系统和战斗部的性能得到改善; 由虚实共轭变换, 将提高导弹武器系统的突防与生存概率和杀伤概率(虚部), 从而使导弹武器系统的效能得到提高。

## 2 导弹武器系统效能的软硬共轭分析与变换

构成导弹武器系统的发射装置、动力装置、飞行控制系统和战斗部等组成部分为其硬部<sup>[1]</sup>, 各组成部分之间的相互联系为其软部。在研究人对导弹武器系统的操作时, 导弹武器系统的各组成部分为硬部, 人与导弹武器系统的操作关系是软部。导弹武器系统的各组成部分之间的关系为内属关系, 而导弹武器系统与地理环境、人和天气条件等的关系是外联关系。在对导弹武器系统效能的研究中, 只考虑它的各组成部分是远远不够的, 还必须研究其内外关系, 通过软硬共轭变换来提高导弹武器系统的效能。

### 2.1 软硬共轭分析

记导弹武器系统的外联关系的关系元<sup>[1]</sup>模型为

$$M_{sf} = \left( \begin{array}{ccc} \text{操作关系,} & \text{前项,} & \text{操作人员} \\ & \text{后项,} & \text{导弹武器系统}N \\ \text{熟练程度,} & & a \end{array} \right) \wedge \left( \begin{array}{ccc} \text{适应关系,} & \text{前项,} & \text{导弹武器系统}N \\ & \text{后项,} & \text{作战环境} \\ \text{适应程度,} & & b \end{array} \right) \triangleq L_{11} \wedge L_{12}$$

其中, 熟练程度和适应程度可由专家打分得到, 如均分为 6 个等级, 6 级最高, 1 级最低。作战环境包括敌方的电子干扰、天气条件、地理环境和电磁场干扰等。

建立导弹的硬部物元模型为

$$M_{hr} = (\text{飞行控制系统, 类型, } v_{hr1}) \wedge \left( \begin{array}{ccc} \text{弹体, 结构, } v_{hr2} \\ & & \text{材料, } v_{hr3} \end{array} \right) \wedge (\text{战斗部, 类型, } v_{hr4}) \wedge (\text{动力装置, 类型, } v_{hr5}) \wedge (\text{其它装置, 类型, } v_{hr6}) \triangleq L_{21} \wedge L_{22} \wedge L_{23} \wedge L_{24} \wedge L_{25}。$$

### 2.2 软硬共轭变换

为了使导弹武器系统更加适应作战环境(软

部), 可对其飞行控制系统(硬部)实施主动变换  $TL_{21} = L_{21}'$ , 以提高导弹武器系统对作战环境的适应程度, 通过传导变换来提高导弹武器系统的效能。根据相关性和蕴含性, 这一软硬共轭分析与变换所形成的推理知识为

$$\begin{aligned} & (TL_{21} = L_{21}') \wedge [L_{21} \sim L_{12} \sim (N, c_{im33}, v_{im33}) \sim \\ & (N, c_{im3}, v_{im3}) \sim (N, c_{效}, M_{效})] \models \\ & [T \Rightarrow L_{21} T_{L_{12}} \Rightarrow L_{12} T_{M_{im33}} \Rightarrow M_{im33} T_{M_{im3}} \Rightarrow \\ & M_{im3} T_{M_{im}}] \end{aligned} \quad (8)$$

其中

$$L_{21} T_{L_{12}} L_{12} = L_{12}' = \left( \begin{array}{ccc} \text{适应关系,} & \text{前项,} & \text{导弹武器系统}N' \\ & \text{后项,} & \text{作战环境} \\ \text{适应程度,} & & c \end{array} \right)。$$

且  $c > b$ , 进而

$$\begin{aligned} L_{12} T_{M_{im33}} (N, c_{im33}, v_{im33}) &= (N, c_{im33}, v_{im33}'), \\ M_{im33} T_{M_{im3}} (N, c_{im3}, v_{im3}) &= (N, c_{im3}, v_{im3}'), \end{aligned}$$

且  $v_{im33}'' > v_{im33}$ ,  $v_{im3}'' > v_{im3}$ , 于是

$$M_{im3} T_{M_{im}} (N, c_{效}, M_{效}) = (N, c_{效}, M_{效}'),$$

且  $M_{效}'' > M_{效}$ 。即通过改进飞行控制系统(硬部)的性能, 由软硬共轭变换, 致使导弹武器系统对作战环境的适应程度(软部)得以提高, 从而提高导弹武器系统的作战效能。

这里分别从虚实和软硬 2 个角度进行了共轭分析与研究, 得到了殊途同归的结论。同理, 也可运用潜显和负正共轭分析与变换对导弹武器系统的效能进行分析与研究。

## 3 举例

假设某地空导弹武器系统  $B$  由 1 个搜索指示目标系统、1 个跟踪制导系统、1 套发射装置和装在其上的 1 发导弹以及其它分系统组成<sup>[3]</sup>。系统的可用度为 0.95, 可信度为 0.96, 搜索雷达发现目标的概率为 0.92, 单发导弹杀伤概率为 0.77, 单发导弹生存概率为 0.91。下面运用虚实共轭分析与变换, 研究提高导弹武器系统  $B$  的效能。

仍以  $M_{im}$ ,  $c_{im1}$ ,  $c_{im2}$ ,  $c_{im3}$ ,  $c_{im31}$ ,  $c_{im32}$  和  $c_{im33}$  分别表示导弹武器系统  $B$  的效能的物元模型、可用性、可信性、能力、突防概率与生存概率、发现概率和杀伤概率。

导弹武器系统  $B$  的实部物元为

$$M_{Bre} = \begin{pmatrix} N_B, & \text{搜索指示目标系统,} & v_{Bre1} \\ & \text{跟踪制导系统,} & v_{Bre2} \\ & \text{发射系统,} & v_{Bre3} \\ & \text{导弹,} & v_{Bre4} \\ & \text{其它分系统,} & v_{Bre5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_B, & c_{Bre1}, & v_{Bre1} \\ c_{Bre2}, & v_{Bre2} \\ c_{Bre3}, & v_{Bre3} \\ c_{Bre4}, & v_{Bre4} \\ c_{Bre5}, & v_{Bre5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{Bre1} \\ M_{Bre2} \\ M_{Bre3} \\ M_{Bre4} \\ M_{Bre5} \end{pmatrix}$$

由发散分析原理

$$\begin{aligned} M_{Bre1} &= \{(N_B, c_{Bre11}, v_{Bre11}), (N_B, c_{Bre12}, v_{Bre12}), \\ & (N_B, c_{Bre13}, v_{Bre13})\} \triangleq \{M_{Bre11}, M_{Bre12}, M_{Bre13}\} \quad (9) \\ M_{Bre4} &= \{(N_B, c_{Bre41}, v_{Bre41}), (N_B, c_{Bre42}, v_{Bre42}), \\ & (N_B, c_{Bre43}, v_{Bre43}), (N_B, c_{Bre44}, v_{Bre44}), \\ & (N_B, c_{Bre45}, v_{Bre45})\} \triangleq \\ & \{M_{Bre41}, M_{Bre42}, M_{Bre43}, M_{Bre44}, M_{Bre45}\} \quad (10) \end{aligned}$$

其中： $c_{Bre11}$  为搜索设备； $c_{Bre12}$  为目标识别设备； $c_{Bre13}$  为目标指示设备； $M_{Bre1}$  为弹体； $M_{Bre2}$  为弹上制导装置； $M_{Bre3}$  为推进装置； $M_{Bre4}$  为战斗部； $M_{Bre5}$  为其它装置。

导弹武器系统  $B$  的能力为

$$v_{im3} = v_{im31} \times v_{im32} \times v_{im33} = 0.91 \times 0.92 \times 0.77 = 0.6446,$$

效能值为

$$M_{效} = v_{im1} \times v_{im2} \times v_{im3} = 0.95 \times 0.96 \times 0.6446 = 0.5879。$$

对导弹武器系统  $B$  的搜索设备和战斗部(实部)分别做变换  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$ ，使

$$\varphi_1(N_B, c_{Bre11}, v_{Bre11}) = (N_B, c_{Bre11}, v_{Bre11}'),$$

$$\varphi_2(N_B, c_{Bre44}, v_{Bre44}) = (N_B, c_{Bre44}, v_{Bre44}').$$

根据相关性和蕴含性所形成的可拓推理知识，由相关性和传导变换，有

$$\varphi_1 T_{v_{Bre1}} v_{Bre1} = v_{Bre1}', \quad \varphi_2 T_{v_{Bre4}} v_{Bre4} = v_{Bre4}'，$$

由虚实共轭变换，导致发现概率和单发导弹杀伤概率(虚部)发生改变，若使

$$v_{Bre1} T_{v_{im32}} v_{im32} = v_{im32}' = 0.96，$$

$$v_{Bre4} T_{v_{im33}} v_{im33} = v_{im33}' = 0.8，$$

从而

$$\begin{aligned} (v_{im32} \wedge v_{im33}) T_{v_{im3}} v_{im3} &= v_{im31} \times v_{im32}' \times v_{im33}' = \\ & 0.91 \times 0.96 \times 0.8 = 0.6989， \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{im3} T_{M_{效}} M_{效} &= v_{im1} \times v_{im2} \times v_{im3}' = 0.95 \times 0.96 \times \\ & 0.6989 = 0.6374。 \end{aligned}$$

从而达到提高导弹武器系统  $B$  的效能目的。这说明通过对导弹武器系统  $B$  的搜索设备和战斗部(实部)进行改进，由传导变换，使搜索指示目标系统和导弹的性能得以改进，由虚实共轭变换，导致效能值(虚部)由 0.5879 变为 0.6374。

#### 4 结束语

利用可拓分析原理，对导弹武器系统的结构、组成和性能进行形式化和全面分析，利用可拓推理、传导变换与共轭变换研究提高导弹武器系统效能的途径，可以实现导弹武器系统效能分析的符号化与形式化，使分析的层次更清晰、逻辑性更强。该方法同样也可用于其它武器系统性能的研究与改进。

#### 参考文献：

- [1] 杨春燕, 蔡文. 可拓工程[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 18-150.
- [2] 李日华, 张金春. 随机事元及其传导概率[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(7): 1108-1111.
- [3] 李廷杰. 导弹武器系统的效能及其分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000: 1-60.
- [4] 杨建军. 地空导弹武器系统概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 2-170.
- [5] 陈文伟, 黄金才, 毕季明. 解决矛盾问题的可拓模型与可拓知识的研究[J]. 数学的实践与认识, 2009, 39(4): 169-172.
- [6] 陈文伟, 杨春燕, 黄金才. 可拓知识与可拓知识推理[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(7): 1094-1096.