

# 基于模糊逻辑理论的弹药消耗预计模型

李建华, 黄 韬, 于洪敏, 张明亮

(国防大学联合勤务学院, 北京 100858)

**摘要:**提出了基于模糊逻辑理论的弹药消耗预测模型的建立方法,通过定量分析影响因素,以确定模型输入和输出的隶属函数,根据作战想定和消耗标准确定推理规则库,构建多输入单输出的预测模型。使用该模型对美军作战弹药消耗进行了验证,结果表明:模糊逻辑模型能够综合诸多因素,对弹药消耗进行预测,为弹药预测提供了新思路。

**关键词:**弹药消耗;模糊逻辑理论;美军弹药消耗

**本文引用格式:**李建华,黄韬,于洪敏,等.基于模糊逻辑理论的弹药消耗预计模型[J].兵器装备工程学报,2019,40(9):150-153.

**Citation format:**LI Jianhua, HUANG Tao, YU Hongmin, et al. Prediction Model of Ammunition Consumption Based on Fuzzy Logic Theory[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2019, 40(9): 150-153.

**中图分类号:**E932

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-2304(2019)09-0150-04

## Prediction Model of Ammunition Consumption Based on Fuzzy Logic Theory

LI Jianhua, HUANG Tao, YU Hongmin, ZHANG Mingliang

(Joint Service College, National Defense University, Beijing 100858, China)

**Abstract:** The method of establishing ammunition consumption prediction model based on fuzzy logic theory was proposed. The membership function of input and output of the model was determined by quantitative analysis of influencing factors, and the inference rule base was determined according to operational scenarios and consumption standards. The prediction model of multi-input and single-output was constructed. The model was used to verify the operational ammunition consumption of the US army. The results show that the fuzzy logic model can synthesize many factors and predict the ammunition consumption, which provides a new idea for ammunition prediction.

**Key words:** ammunitions consumption; fuzzy logic theory; US army ammunitions consumption

信息化条件下作战,弹药保障是作战保障领域的重要活动,是作战行动得以实施的前提和基础,事关战局成败。随着战争形态和样式等因素的改变,弹药消耗规律发生了深刻变化,呈现消耗量大幅增长、信息化弹药比重上升、消耗种类多样化等特点。弹药保障部队要根据作战计划,在迅速变化、复杂恶劣的环境下为部队及时、恰当地提供足够数量的弹药,同时还要保持动性,以应对随时可能发生的偶然变化,这就对弹药保障提出了更高要求,因此对弹药消耗的准确预测就显得尤为重要。

美军针对战争中弹药的消耗量评估进行了深入研究,取

得了大量成果。其中,国防部基于能力的弹药需求量评估程序 CBMR(Capabilities-Based Munitions Requirements Process),旨在确定军事部门在军事行动中建立弹药需求方案。CBMR已成为美军现阶段弹药保障研究工作的一个主要参考,其对弹药需求评估的过程为:首先由国防部的官员与参谋长联席会议、部队和作战指挥员进行讨论,制定国防计划指令的弹药需求政策;其次,作战部队应用仿真模型和作战想定进行作战需求分析,确定弹药需求的数量以及种类。

目前,我军针对弹药消耗预计方法的研究主要以基于数理模型<sup>[1-4]</sup>和基于作战任务模拟<sup>[5-7]</sup>为主,存在对历史数据

依赖性大和影响因素研究不深入等问题<sup>[8]</sup>,这严重制约着我军弹药消耗评估研究,迫切需要改进弹药消耗预计方法。智能算法<sup>[9]</sup>可以摆脱对历史数据的依赖,综合考虑各类影响因素,提高预测结果的准确性,对于推进我军弹药保障领域的发展具有重要的现实意义。

模糊逻辑方法具有多因素综合分析的特点,能够对受多种因素影响、具有不确定性结论的事物或现象作出总体评价。弹药消耗具有明显的模糊性和不确定性,可以使用模糊逻辑理论建立弹药消耗的数学模型。

## 1 模糊逻辑理论

模糊集(Fuzzy Sets)理论由扎德(L. A. Zadeh)教授创立,模糊集合是对经典的康托尔集合(Cantor Sets)的扩充和发展。随着模糊信息处理技术的发展,模糊集理论在逻辑推理、模式识别、控制、优化、决策等领域得到了广泛应用。

模糊理论的核心思想是把取值仅为1或0的特征函数扩展到可在闭区间 $[0,1]$ 中任意取值的隶属函数,突破了传统二值逻辑的束缚。

模糊逻辑模型由输入量模糊化、规则库、推理机和输出量反模糊化等部分组成。

### 1.1 输入模糊化

#### 1.1.1 语言变量

模糊控制规则中的输入和前提的语言变量构成模糊输入空间,结论的语言变量构成模糊输出空间。每个语言变量的取值为一组模糊语言名称,他们构成了语言名称的集合。每个模糊语言名称对应一个模糊集合。对于每个语言变量,其取值的模糊集合具有相同的论域。模糊分割是要确定对于每个语言变量取值的模糊语言名称的个数,模糊分割的个数决定了模糊控制精细化的程度。语言值是定义在论域上的模糊集合。语言值通常用“NB”,“NM”,“NS”,“ZE”,“PS”,“PM”,“PB”,其含义为如表1所示。

表1 语言值含义

语言值	含义
NB	负方向大(Negative Big)
NM	负方向中(Negative Medium)
NS	负方向小(Negative Small)
ZE	适中(Zero)
PS	正方向小(Positive Small)
PM	正方向中(Positive Medium)
PB	正方向大(Positive Big)

模糊语言名称可以为对称或非对称分布,模糊语言的个数决定了模糊规则的最大可能个数。模糊分割过多会导致需要确定更多的模糊规则,分割过少会导致控制性能下降,因此要确定合理的模糊语言个数。

### 1.1.2 隶属函数

隶属函数是对模糊性的数学描述,本质是客观的,但是隶属函数与所研究实际问题的自然属性密切相关,因此,隶属函数具有多样性和对背景的敏感性。尽管如此,仍然可以肯定的是:人类长期积累起来的丰富领域知识以及大量定性信息将有助于隶属函数的确定。

隶属函数是模糊理论的基础,因而如何确定隶属度函数是关键。常用的隶属函数有三角形、矩形、梯形、次抛物线形、形、正态分布、岭形等。

### 1.2 规则库

模糊逻辑推理是建立在模糊逻辑的基础上的,是一种不确定推理方法,推理以模糊判断为前提,运用模糊语言规则,推导出一个近似的模糊判断的结论。模糊推理根据所应用的系统可分为纯模糊系统的模糊推理、工业过程控制系统模糊推理、基于神经系统的模糊推理和模糊专家系统的模糊推理。

在模糊控制中,主要有状态评估模糊规则和目标评估模糊控制规则,本文使用的是状态评估模糊控制规则,是由一系列“If-Then”型的模糊条件句构成,条件句的前件为输入和状态,后件为控制输出,其典型形式为:

$R_1$ : if  $X$  is  $A_1$  and  $Y$  is  $B_1$ , then  $Z$  is  $C_1$ ;

also  $R_2$ : if  $X$  is  $A_2$  and  $Y$  is  $B_2$ , then  $Z$  is  $C_2$ ;

...

also  $R_n$ : if  $X$  is  $A_n$  and  $Y$  is  $B_n$ , then  $Z$  is  $C_n$ 。

模糊控制规则是模糊控制的核心。因此,如何建立模糊控制规则也就成为一个十分关键的问题。用于决策的部分信息是基于语义的方式而非数值的方式,模糊控制是对人类行为和进行决策分析过程最自然的描述方式。模糊控制规则主要基于专家和操作人员的经验,它取决于对多种性能的要求,而不同的性能指标往往互相制约,甚至是互相矛盾的,但模糊控制不允许出现互相矛盾的情况。基于此,通过总结专家经验,获得弹药保障领域模糊控制规则的原型,在此基础上,经过一定的试凑和调试,可获得具有更好性能的控制规则。

## 2 基于模糊逻辑理论的弹药消耗预测模型

基于模糊逻辑理论的弹药消耗预计模型包括输入模糊化、输出模糊化和模糊规则等要素。输入模糊化主要针对影响弹药消耗的因素进行量化分析;输出模糊化主要针对建制部队日弹药消耗量进行量化分析;模糊规则是由输入和输出因素之间的内在关系确定。

### 2.1 输入模糊化

综合考虑作战地形、持续时间、作战样式、作战阶段因素等四方面影响因素,建立因素的隶属度函数。

#### 1) 作战地形因素

作战地形复杂,使得射击的命中率下降,作战弹药的需求大大增加。据美军官方统计,在山地、高原地区作战其日弹药消耗量一般较平原地区高。在不考虑其他影响因素的条件下,山地作战的日弹药消耗量相当于平原地区的1.5~

2 倍。

#### 2) 作战持续时间因素

信息化条件下的局部战争凸显火力集中、迅猛和速战速决等特点,作战持续时间越短每件武器的日弹药消耗量就越高,作战持续时间在 30 天以内的尤为突出。但这并不表示弹药消耗量与作战持续时间成正比关系,主要是因为作战持续时间的延长增加了防御方防护和恢复目标功能的时间,同时也增加了攻击方弹药生产、运输和补给的时间。

#### 3) 作战样式因素

信息化条件下的作战样式发生了很大变化,由过去的平面线式发展到敌我交错、作战地域不规则的非线式作战,更注重进攻作战。与防御相比,进攻弹药消耗将远大于防御作战。在防御战中,弹药消耗量的变化主要取决于防御设施的准备情况。应急防御战的日弹药消耗量最高,相当于坚固阵地防御战的 1.5~2 倍,或无准备防御战的 2~5 倍。

#### 4) 作战阶段因素

从近几年局部战争来看,大战末期的日弹药消耗量一般均高于其他时期。大战末期交战双方都已疲惫不堪,火力战成了作战的主体。海湾战争则相反,美军在前期的战略、战术轰炸阶段消耗了大量弹药,导致后期弹药保障有些力不从心,在伊方失去了对抗能力的地面战时,弹药消耗量与前一阶段相比也有较大幅度减少。

### 2.2 输出模糊化

与以往战争相比,信息化条件下的局部战争作战时间大为缩短,倘若仍按战争总时间内所消耗的弹药总量为标准来衡量弹药的消耗,不仅使各次战争的弹药消耗量失去可比性,而且也无法正确地反映弹药消耗的强度。现代战争弹药消耗总量或许不多,但其单位时间弹药消耗却急剧上升。因此,单位时间弹药消耗量在一定程度上更能准确反映弹药消耗本质。

模糊规则是模型的核心,规则的正确与否直接决定了模型的性能。一般通过专家的知识确定。基于模糊逻辑理论的弹药消耗预测模型可以通过总结作战规律、作战想定、消耗标准等原则确定。

作战想定主要包含输入因素和输出因素:整建制部队在特定作战地形下,在作战持续时间内,选择的进攻或防御作战样式的情况下,各个作战阶段下日弹药消耗量。

基于模糊逻辑理论的弹药消耗预测模型的建立可以根据模糊分析的理论方法和分析步骤进行。选取的作战地形、作战时间、作战类型、作战阶段等四个弹药消耗影响因素作为弹药消耗预测模型的输入,模型的输出为单位时间内的弹药消耗量。基于模糊逻辑理论的弹药消耗预测模型结构如图 1 所示。

## 3 仿真计算

为了验证模型的正确性,引用文献[10]中美军陆军作战数据进行验证。20 世纪 80 年代,美军对弹药消耗标准作了新的调整,大幅度提高了师的弹药消耗量。从 20 世纪 90 年

代初开始,美军对弹药消耗标准再次进行大幅度的调整,提高了师弹药消耗标准,目的在于适应现代作战的需要。1991 年的海湾战争,美军地面交火时间很短,仅持续 100 h 就宣布停火。从数量上看,美军在地面战中仅第 2 装甲师日弹药消耗量就达 5 000 t 左右。这个数字已超出了美军预测的 86 重装师的弹药消耗量 4 122 t。倘若没有战略轰炸、战术轰炸,其日弹药消耗量将远大于 5 000 t。以此为基础对美军装甲师单日弹药消耗量进行预测。

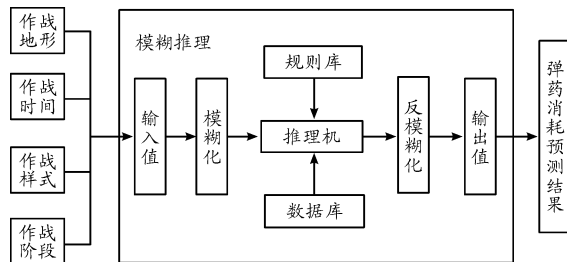


图 1 基于模糊逻辑理论的弹药消耗预测模型结构框图

通过分析美军弹药保障思想和弹药消耗标准,为了进行模型验证,对美军一个装甲师日弹药消耗量进行研究。基本作战想定:美军整建制装甲师,作战地形包括平原、丘陵、山地,作战持续时间为 45 d,作战样式包括进攻作战、应急防御作战和无准备防御战,作战阶段分为前期、中期、后期,预计该装甲师日弹药消耗量。

根据作战想定,将作战地形、作战时间、作战样式和作战阶段分别映射到 $[0, 10]$ 、 $[1, 45]$ 、 $[1, 10]$ 和 $[1, 4]$ 区间,使用 $\{NB, ZE, PB\}$ 语言值集合。将预测结果输出映射到 $[1 000, 10 000]$ 区间,使用 $\{NB, NS, ZE, PS, PB\}$ 语言值集合。输入输出均使用三角函数作为隶属函数,以作战持续时间和作战样式为例,隶属度函数如图 2、图 3 所示。

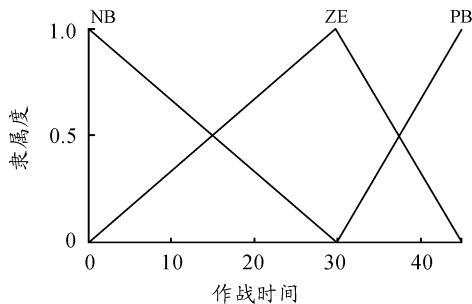


图 2 作战时间隶属函数

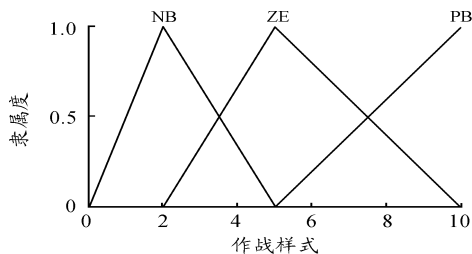


图 3 作战样式隶属函数

针对美军作战的弹药消耗标准进行归纳总结,结合专家经验,排除冲突矛盾规则,得出 26 条模糊规则,如图 4 所示。

根据已经确定的输入、输出隶属函数和模糊规则,对建立的模型进行了运算。模型的输入输出结构如图 5 所示。

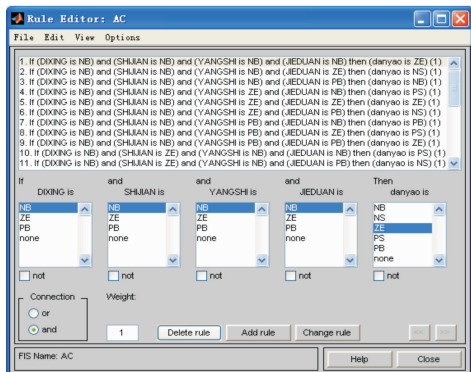


图 4 添加模糊规则

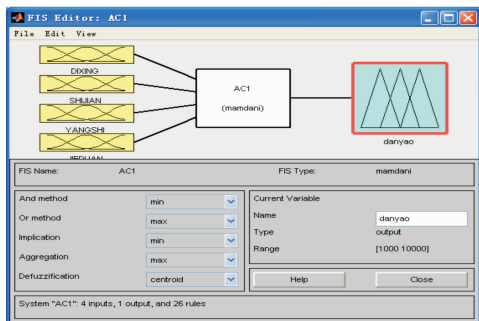


图 5 模型总体结构

通过模糊规则观察窗,可以观察全部规则的相互影响情况,以及不同因素下的弹药消耗预计结果。模糊规则观察窗可以直接输入数据或调整红线位置,便可得到预测结果,在  $input = [3.26, 19, 6.44, 1.32]$  时,弹药的消耗量为 6 880 t,即在作战地形为平原下,美军装甲师第 19 d,在防御作战样式下,作战初期的弹药日消耗量为 6 880 t,如图 6 所示。

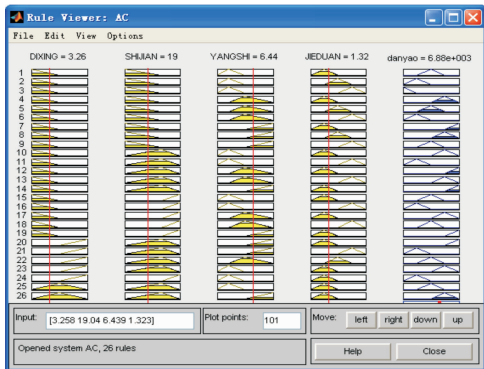


图 6 模糊规则观察窗

为了建立更加完善准确的预测模型,建议从以下几个方面入手:

1) 建立合理的影响弹药消耗的影响因素量化数据库,确定准确的隶属函数。

2) 建立完备的模糊逻辑规则库,可以通过以下手段获得更多完善合理的推理规则:

- a. 进一步完善总结专家经验;
- b. 研究大量作战相关论文,提炼规则;
- c. 从作战想定和作战规则等中提炼规则;
- d. 借鉴吸收兵棋推演的相关规则。

3) 使用模糊逻辑理论与人工智能方法的组合算法,进行弹药预测研究。

## 4 结论

本文提出的基于模糊逻辑理论建立的弹药消耗预测模型,能够在一定程度上将影响弹药消耗量的因素模糊化,并根据作战想定等建立推理规则,作为精确弹药预测模型的研究基础。

## 参考文献:

- [1] 张毅,郑保华.改进灰色预测模型在对地攻击弹药需求预测中的应用[J].海军航空工程学院学报,2012,27(1):35-38.
- [2] 苏续军,吕学志.基于效用函数的随伴支援炮兵弹药选择模型[J].火力与指挥控制,2017,42(6):74-79.
- [3] 陈利安,肖明清.航空弹药平时消耗量预测模型对比[J].弹箭与制导学报,2010,30(3):239-242.
- [4] 叶小军,樊桂印.基于GM(1,1)灰色模型弹药补给量的预测.火力与指挥控制,2010,35(11):170-172.
- [5] 张超,邵峥波,赵建国.基于分枝定界法的坦克弹药消耗量预测模型[J].火力控制与指挥,2011,36(12):92-95.
- [6] 孙丽君.基于灰理论的弹药消耗量预测[J].火力与指挥控制,2012,37:28-30.
- [7] 陶茜,彭力.基于蚁群算法的航空弹药需求测算[J].火力与控制指挥,2010,35(9):34-37.
- [8] 邹强,王城超.战时弹药消耗预测方法研究[J].兵器装备工程学报,2017,38(9):12-16.
- [9] 孙云聪,万华. Elman 和 BP 网络应用于航空训练弹药需求预测的对比研究[J].舰船电子工程,2017,37(3):100-103.
- [10] 沈寿林.美军弹药保障研究[M].北京:军事科学出版社,2010.