

doi: 10.7690/bgzd.2014.07.002

# 基于序关系法的弹炮结合防空系统能力对比方法

胡海波, 李俊美, 程力  
(北京系统工程研究所, 北京 100101)

**摘要:** 针对当前对装备能力分析中存在的不足, 提出一种采用序关系分析法的弹炮结合防空系统能力对比方法。通过序关系法确定权重对弹炮结合武器系统能力进行对比, 建立武器装备能力对比的一般流程, 构建弹炮结合防空武器系统对比参数体系, 确定对比参数的归一化模型, 详述序关系分析法原理和运用过程, 并选取 3 种典型弹炮结合装备系统进行对比示例分析。实例分析结果表明: 该方法原理简单, 为开展装备能力对比提供了一种可行的方法。

**关键词:** 序关系法; 弹炮结合防空系统; 能力对比  
**中图分类号:** TJ303 **文献标志码:** A

## Capability Comparing of Integrated Missile Air Defense System Based on Order Relation

Hu Haibo, Li Junmei, Cheng Li  
(Beijing Institute of System Engineering, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Aiming at the insufficient of equipment capability analysis at present, the paper proposes an approach for comparing the capability of integrated missile air defense system based on order relation. It determines the weight based on order relation, builds the general flow of comparing weaponry capability, gives the comparing parameter system of integrated missile air defense system, analyses the principles of order relation, and then tests by three typical integrated missile air defense systems. The example analysis results show that the method is simple in principle, provides a feasible method for equipment capability comparing.

**Keywords:** order relation; integrated missile air defense system; capability comparing

### 0 引言

武器装备能力是武器装备的固有属性, 是由装备质量特性(性能参数/战技指标)、数量决定的, 与作战过程无关<sup>[1]</sup>。武器装备能力对比主要是对不同国家的某一类装备能力的整体情况, 以及各个组成要素进行综合评价比较。随着我军装备力量的发展, 我军与世界主要国家装备水平正在缩小。通过分析我军与世界主要国家装备能力水平的差异, 可为我军装备建设发展提供借鉴参考。

在未来的信息化陆战场和局部冲突战争中, 野战防空作战仍然十分重要, 在野战防空武器装备中, 弹炮结合系统由于火力猛、效能高, 被认为是对空防御火力发展的一个趋势<sup>[2]</sup>。当前在对装备能力的分析中, 运用比较多的是通过层次分析方法确定指标参数和权重, 但在运用过程中存在一致性检验和运算量大等不足, 笔者采用一种改进型层次分析法——序关系分析法来确定对比参数权重, 通过探索弹炮结合防空系统能力的对比方法, 为我军开展相关装备发展论证规划提供一种思路。

### 1 武器装备能力对比过程

装备系统是一个复杂性综合体, 只有将其细化

分解, 与武器装备系统构成、部署与运用等建立对应支撑关系, 才能进行对比分析<sup>[3]</sup>。笔者在进行对比时, 首先是建立合理的对比参数体系结构; 其次对所确定定量和定性对比参数进行归一化处理; 然后运用序关系法确定各项对比参数权重系数, 最后确定综合模型, 形成综合能力指数, 并对结果进行分析。对比过程中, 对底层对比参数重点对比各个属性的具体能力, 这是对比的基础; 在整体层面, 重点是对比总能力的差异和水平。具体的对比流程如图 1 所示。

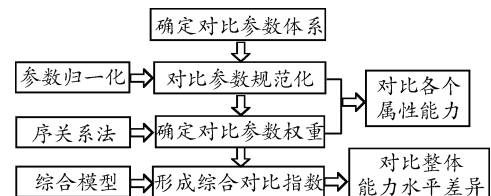


图 1 能力对比的流程

### 2 弹炮结合防空系统能力对比参数构建

弹炮结合防空系统是将低空近程防空导弹和小口径高炮通过共用搜索、指挥、控制、通信系统和火控系统而构成的武器系统, 用于打击低空和超低空来袭目标, 主要由指挥控制系统、火控系统和火力系统组成<sup>[4]</sup>。其基本的作战流程如图 2 所示。

收稿日期: 2014-03-08; 修回日期: 2014-04-15

基金项目: 国防预研基金项目(9140C89030311KG1104)

作者简介: 胡海波(1984—), 男, 安徽人, 硕士, 从事国防系统分析工程研究。

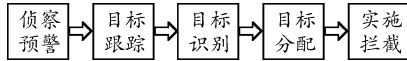


图 2 弹炮结合防空装备系统作战流程

根据弹炮结合防空系统结构特点和作战流程，遵循层次性、完整性、可量化等原则，采用分层分析法提出了表 1 对比参数体系。

表 1 弹炮结合防空装备系统对比参数

弹炮能力	参数
毁伤能力	导弹射程
	导弹射高
	导弹基数
	每分钟发射炮弹数
搜索能力	炮弹基数
	反应时间
	发现目标最大距离
	搜索频率范围
	搜索角度范围
跟踪能力	跟踪目标距离
	跟踪精度
	可同时跟踪同一目标的导弹数
	最多可跟踪目标数
机动能力	机动方式
	系统重量

### 3 对比参数的规范化

对比参数的类型、计量单位、数量级别之间往往是不同的，直接对参数进行综合没有意义也不合理。因此必须对各参数的实际值进行规范化处理，使之转化为具有可比性的相对值，在此基础上再进行综合汇总。对参数进行规范化的方法有很多种，笔者主要选择归一化处理方法，具体公式如下：

$$x_i^* = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (i=1,2,\dots,n)$$

其中： $x_i$  为原始值； $x_i^*$  为规范化之后的值。

### 4 用序关系法确定对比参数权重

确定权重系数的方法很多，比较常用的是特征值法，如层次分析法等，这种方法的不足是需要进行一致性检验，而且当对比参数较多时，计算量巨大。笔者采用的序关系法，其本质是对层次分析法的一种改进，与层次分析法相比，具有无需构造判断矩阵和进行一致性检验，对同一层次元素没有个数限制，计算量成倍减少等优点。序关系法确定权重主要分为 3 个步骤：确定元素序关系、给出元素之间相对重要程度判断、权重系数的计算<sup>[5]</sup>。

#### 1) 确定元素序关系。

对于所有对比参数  $x_1, x_2, \dots, x_m$ ，专家或决策者在参数体系中选出认为最重要的参数，记为  $x_1^*$ ，接着在余下的参数中再选择认为是最重要的指标，记为  $x_2^*$ ，以此类推，把所有指标按照重要性排序为

$x_1^* \succ x_2^* \succ \dots \succ x_m^*$ ，这里  $x_i^*$  表示  $\{x_i\}$  按序关系排定顺序后的第  $i$  个评价参数 ( $i=1,2,\dots,m$ )。

#### 2) 给出相对重要程度的比较判断。

设专家或决策者关于评价参数  $x_{k-1}$  与  $x_k$  的重要程度之比  $w_{k-1}/w_k$  的理性判断分别为

$$w_{k-1}/w_k = r_k, \quad k = m, m-1, m-2, \dots, 3, 2$$

$r_k$  的赋值如表 2 所示。

表 2  $r_k$  赋值参考

$r_k$	说明
1.0	指标 $x_{k-1}$ 与指标 $x_k$ 具有同样重要性
1.2	指标 $x_{k-1}$ 比指标 $x_k$ 稍微重要
1.4	指标 $x_{k-1}$ 比指标 $x_k$ 明显重要
1.6	指标 $x_{k-1}$ 比指标 $x_k$ 强烈重要
1.8	指标 $x_{k-1}$ 比指标 $x_k$ 极端重要

#### 3) 权重系数 $w_k$ 的计算。

若专家或决策者给出  $r_k$  的理性赋值满足上面步骤中的关系式，则  $w_m$  为

$$w_m = (1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i)^{-1}$$

其他的权重系数为

$$w_{k-1} = r_k w_k, \quad k = m, m-1, \dots, 3, 2$$

具体的证明过程可参看文献[5]。

### 5 对比参数综合模型

综合模型是为了能形成最终对比指数。整体能力和底层参数之间的关系，一般可分为串联和并联的关系<sup>[6]</sup>，串联是指各类参数都决定了整体能力大小，缺一不可，并联是指各类参数之间是协同关系，并非缺一不可。

对于串联关系，一般采用非线性加权模型进行参数综合。公式如下：

$$y = \prod_{i=1}^m \sqrt{[(1+x_i)^{m w_i} - 1]}$$

式中： $y$  为上层参数； $x_i$  为构成这一参数的下层参数； $w_i$  为  $x_i$  的权重系数。

对于并联关系，一般采用线性加权模型进行参数综合。公式如下：

$$y = \sum_{i=1}^m w_i x_i$$

式中： $y$  为上层参数； $x_i$  为构成此参数的下层参数； $w_i$  为  $x_i$  的权重系数。

### 6 实例分析

目前，世界上装备和在研的弹炮结合防空系统已达 30 多种，笔者选择俄罗斯“铠甲-C1”、美国

“火焰”和瑞士“天盾”3种典型弹炮结合防空系统<sup>[7]</sup>，运用上面方法进行对比分析。

俄罗斯“铠甲-C1”是最新型的野战防空系统，主要担负对机场、指挥中心等重要军事设施的中低空作战，具有全天候作战能力和自主式全自动工作方式。该系统由2门30 mm自动炮、2组4联装防空导弹发射装置、1部搜索雷达、1部跟踪雷达和计算机系统等组成。

美国“火焰”是通用动力武器系统公司和法国汤姆逊公司共同合作研制的一种弹炮结合防空炮塔，该系统具备目标自动跟踪和全天候作战能力，由1门加特林自动炮、1组4联装“毒刺”导弹发射装置和1部数字式跟踪雷达组成。

“天盾”由瑞士厄利空-康特拉夫公司研制的一种轻型、紧凑型的先进防空系统，主要用于对指挥机构及重要设施的中低空防护，不仅可以攻击飞机，还可用于击毁来袭的巡航导弹、制导炸弹等高速目标。该系统由2门35 mm速射自动炮、1部导弹发射装置和1个新型组件式火控系统组成。

根据确定的对比参数，进行权重确定。以毁伤能力为例，经专家调查，得出重要程度排序为：导弹射程>导弹射高>导弹基数>每分钟发射炮弹数>炮弹基数，对这5个参数进行重要度判断，得出：

$$r_2 = \frac{w_1}{w_2} = 1.2 \quad r_3 = \frac{w_2}{w_3} = 1.4 \quad r_4 = \frac{w_3}{w_4} = 1.6 \quad r_5 = \frac{w_4}{w_5} = 1.2$$

带入权重计算公式可以得到：

$$w_5 = (1 + \sum_{i=2}^5 \prod_{j=2}^i r_j)^{-1} = 0.099 \quad w_4 = 0.12$$

$$w_3 = 0.192 \quad w_2 = 0.269 \quad w_1 = 0.319$$

类似形成的各层次权重系数如表3所示。

表3 弹炮结合防空装备系统对比参数权重系数

能力参数	权重系数
毁伤能力 0.372 9	导弹射程 0.319
	导弹射高 0.269
	导弹基 0.192
	每分钟发射炮弹数 0.12
	炮弹基数 0.099
搜索能力 0.266 4	反应时间 0.397 2
	发现目标最大距离 0.248 2
	搜索频率范围 0.177 3
	搜索角度范围 0.177 3
跟踪能力 0.222 0	跟踪目标距离 0.317 9
	跟踪精度 0.317 9
	可同时跟踪同一目标的导弹数 0.198 6
机动能力 0.138 7	最多可跟踪目标数 0.165 6
	机动方式 0.642 9
	系统重量 0.357 1

根据确定的对比参数，收集整理3种系统的数据资料，并进行归一化处理，运用线性加权模型进行参数综合，可得到具体的能力指数如表4所示。

表4 3种系统能力指数对比

系统能力	铠甲-C1	火焰	天盾
毁伤能力指数	0.813 2	0.584 8	0.622 9
搜索能力指数	0.761 4	0.698 5	0.685 3
跟踪能力指数	0.681 9	0.634 4	0.656 6
机动能力指数	0.623 5	0.782 5	0.802 6
系统总能力指数	0.732 1	0.661 6	0.682 8

从对比数据来看，系统总能力“铠甲-C1”最强，“火焰”和“天盾”基本相当，其中“铠甲-C1”毁伤能力非常突出，搜索和跟踪能力稍强，而“火焰”和“天盾”更突出机动能力。这主要是因为俄罗斯弹炮结合防空系统主要是为地面机械化部队提供伴随防空掩护，因此比较重视弹炮结合防空导弹的毁伤能力，而且其制导体制采用遥控指令制导，制导距离较远。美国等西方国家在防空上采用“以空制空”的防空策略，在发展弹炮结合防空系统时，特别强调机动和紧凑性，将弹、炮、火控设备集成于一辆车上，严格限制重量，通常以小高炮和便携式防空导弹结合，保卫空域较小，常部署在战斗地域前沿，其中导弹采用独立制导模式、装备红外导引头，制导距离较近。

## 7 结束语

笔者运用序关系分析法确定权重，对弹炮结合武器系统能力进行了对比。实例结果表明：序关系分析法原理简单，不需要一致性检验，且计算量不大，但由于也是建立在主观排序基础之上，因此结果受到一定的主观影响，且形成的权重之间差距不能非常合理地表示出对比参数之间的重要性差异。笔者提出的能力对比方法主要是针对武器系统层面，在开展更高层次或战略领域的体系能力对比方面还有一定的局限性。战略领域的体系能力是一个复杂巨系统，考虑的因素更多、权衡的条件更复杂，如何进行合理的对比，还有待继续研究。

## 参考文献：

- [1] 罗鹏程, 傅攀峰, 周经纶. 武器装备体系作战能力评估框架[J]. 系统工程与电子技术, 2005(1): 72-75.
- [2] 匡兴华. 高技术武器装备与应用[M]. 北京: 解放军出版社, 2011: 46.
- [3] 李传芳, 许瑞明, 麦群伟. 作战能力分析研究方法综述[J]. 军事运筹与系统工程, 2009(3): 72-77.
- [4] 陈建军, 吴三宝. 弹炮结合防空武器系统综合研究[J]. 国防技术基础, 2005(9): 41-43.
- [5] 郭亚军. 综合评价理论、方法及拓展[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 26-29.
- [6] 牛新光. 武器装备建设的国防系统分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 81.
- [7] 张树良, 田卫亮. 世界主要国家(地区)弹炮结合防空系统[J]. 航空航天侦察技术, 2011: 31-35.