

doi: 10.7690/bgzdh.2023.09.002

## 基于改进 ISM 自动装弹器性能指标重要度评估

王伟博<sup>1</sup>, 吴虎胜<sup>2</sup>

(1. 武警工程大学研究生大队, 西安 710086; 2. 武警工程大学装备管理与保障学院, 西安 710086)

**摘要:** 针对自动装弹器功能需求层次模糊的问题, 基于系统工程装备的质量特性提出一种性能指标体系, 利用解释结构模型 (interpretative structural modeling method, ISM) 方法建立递阶层次模型对指标的重要程度进行评估。通过 ISM 对指标进行定性分析, 得到层次递阶模型图及模糊重要度的层级顺序; 利用层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 对最关键的 3 个指标进行定量分析并比较, 得出其重要度次序; 结合 ISM 方法和 AHP 得到 2 个结果; 得出自动装弹器关键性能指标重要度的次序及整体指标的层次结构。结果表明: 该评估方法为自动装弹器的研制、改进提出一种新思路。

**关键词:** ISM; 层次递阶模型; 层次分析法; 功能需求; 自动装弹器

**中图分类号:** TJ303+.3 **文献标志码:** A

## Importance Evaluation Based on Improved ISM Automatic Loader Performance Index

Wang Weibo<sup>1</sup>, Wu Husheng<sup>2</sup>

(1. Brigade of Graduate Student, Engineering University of PAP, Xi'an 710086, China;

2. School of Equipment Management and Support, Engineering University of PAP, Xi'an 710086, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the function requirement level of autoloader is fuzzy, a performance index system is proposed based on the quality characteristics of system engineering equipment, and a hierarchical model is established by using interpretative structural modeling (ISM) method to evaluate the importance of the index. Through the qualitative analysis of the indicators by the interpretative structural model, the hierarchical model diagram and the hierarchical order of the fuzzy importance are obtained. Through the quantitative analysis and comparison of the 3 most critical indicators by the AHP, the order of their importance is obtained. 2 results are obtained by combining the ISM method and the analytic hierarchy process. The order of the importance of the autoloader's key performance indexes and the hierarchical structure of the overall indexes are obtained. The results show that the evaluation method provides a new idea for the development and improvement of the autoloader.

**Keywords:** ISM; hierarchical model; AHP; functional requirements; automatic loader

### 0 引言

传统的按压式纯手动装弹器不满足实战的需求, 重庆中冶金有限公司<sup>[1]</sup>在 2006 年提出了一种枪弹装弹器, 其结构简单, 便于操作和携带, 装弹效率得到提升, 但使用时仍需手动将子弹装入弹匣, 有一定局限性。2012 年浙江大学<sup>[2]</sup>发明了一种子弹装填系统, 能实现基本的枪弹自动装填功能。2018 年美国威士达户外作业有限公司<sup>[3]</sup>发明一种自动弹匣装弹器, 其智能化程度更高, 人机交互性更好。2018 年泰安市晓兰义精密设备有限公司<sup>[4]</sup>提出一种自动装填系统, 增加了装弹计数功能。2020 年信阳圆创磁电科技有限公司<sup>[5]</sup>提出一种磁铁弹匣上料机, 利用磁铁的磁力对弹匣精准控制以实现自动装弹功能。在装弹器的设计制造时, 对其功能需求不同导致设计理念不同, 实际发挥作用效果也有一定

差距。结合部队实际需求以及专家经验提出一种指标体系, 采用解释结构模型 (ISM) 方法对装弹器设计制造时指标重要程度进行定性分析, 基于粗糙的定性分析, 结合 AHP 方法对 ISM 方法提出的指标重要度再次进行细分, 为装弹器的研发提供借鉴。

ISM 方法<sup>[6-8]</sup>是一种静态分析方法, 通过经验或文献检索等手段将系统的指标罗列出来, 经过一系列计算将系统指标进行分级, 并用有向图将事物之间的关系表示出来。它被广泛运用于系统工程问题的分析中, 魏国敏等<sup>[9]</sup>用 ISM 方法分析了应急投送保障指标体系的层次结构; 陆宁等<sup>[10]</sup>运用 ISM 方法可持续建筑的指标层级进行简化, 并进行分析提出了可持续发展建筑指标的重要程度; 李琳等<sup>[11]</sup>基于 DEMATEL-ISM 对工程项目成本控制的影响因素进行了分析; 谢飞等<sup>[12]</sup>利用 ISM-ANP-Fuzzy 方法对

收稿日期: 2023-04-27; 修回日期: 2023-06-05

基金项目: 武警部队装备综合研究基金项目 (WJ20211A030021)

作者简介: 王伟博 (1995—), 男, 陕西人。

城市轨道交通 PPP 项目界面的风险进行评价得出风险等级。ISM 方法作为一种定性的评价手段，对系统指标缺少一种定量的判断，只能模糊地得出一定的结构层次，缺少定量分析，得出的结果信服度不高。因此，将 ISM 理论应用在装弹器指标的层次模型构建上，在此基础上，对自动装弹器的部分重要度较高指标结合层次分析法进行综合定量分析，对自动装弹器部分指标的重要度进一步评估，能够降低指标评估的主观性因素，得到精确的重要度顺序，为自动装弹器的研制与改进提供参考依据。

### 1 运用 ISM 方法建立解释结构模型

#### 1.1 自动装弹器指标体系的建立

依据系统工程原理的装备质量特性<sup>[13-15]</sup>、机械设计原理查阅相关文献<sup>[16-17]</sup>、部队对装弹器的现实需要进行调研、咨询资深专家得出的需求指标建立自动装弹器指标体系，各级指标相对应关系以及说明如表 1 所示。

表 1 指标体系及说明

准则层	指标层	符号	指标说明
可靠性	快速装弹	$S_1$	能够快速将枪弹装弹匣的能力
	自动排序	$S_2$	对于放入容弹器的散弹自行排序
	计数功能	$S_3$	子弹装入弹匣时计数
	续航性	$S_4$	自动装弹时，能源供装弹器运行的时间
	退弹功能	$S_5$	将多余弹匣内的枪弹退出
	额定数装弹	$S_6$	每个弹匣设定数量装弹
安全性	装弹安全性	$S_7$	自动装弹时，枪弹以及装弹器的安全性
环境适应性	低温适应性	$S_8$	适应低温(极寒地区)的特性
	低压适应性	$S_9$	适应低压(高原)的特性
保障性	防爆性	$S_{10}$	装弹器自身的承受挤压、碰撞的特性
	便携性	$S_{11}$	装弹器的外形、尺寸、重量的特性
测试性	快速检测报警	$S_{12}$	遇到故障迅速报警的特性
维修性	快速组装性	$S_{13}$	检测维修后，快速组装的特性

#### 1.2 ISM 方法对自动装弹器指标体系的评估流程

1) 根据指标体系框架里元素的相关性，建立邻接矩阵。其中  $S_{mn}$  是根据表 1 中指标层的两两元素相互之间的重要关系确定，相对重要的  $S_{mn}$  赋 1，不重要的元素赋 0，即可得出  $A$ 。

$$A = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix}。$$

2) 计算整体评价矩阵  $H=A+I$ ，其中  $I$  为单位矩阵。

3) 根据矩阵  $H$ ，计算出可达矩阵。即当  $(A+I)^{n-1}=(A+I)^n$  时，即  $(A+I)^{n-1}$  为矩阵  $H$  的可达矩阵。

4) 根据可达矩阵可以得到可达集( $R_i$ )，先行集( $Q_i$ )以及可达集与先行集的交集( $R_i \cap Q_i$ )。

5) 建立解释结构模型。即根据步骤 4) 得到可达集与先行集的关系，构建解释结构模型，得出基本重要度层次。

### 2 层次分析法分析步骤

1) 建立层次结构模型。

根据各指标层之间的对应关系，建立层次结构模型。

2) 构造判断矩阵。

采取 1-9 标度法，结合专家经验打分，确定各指标之间相互的重要度。

3) 权重计算以及一致性检验。

对所构造的判断矩阵进行一致性检验，进而确定指标的合理性。

### 3 实例分析

#### 3.1 自动装弹器解释结构模型的建立

1) 根据所建立的自动装弹器指标体系，建立邻接矩阵如下：

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

2) 计算整体评价矩阵，其中  $I$  为单位矩阵。

$$H = A + I =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

3) 根据矩阵  $H$ ，由于矩阵元素较多，通过计算机编程语言 Python 计算出可达矩阵。即当  $(A+I)^{n-1}=(A+I)^n$  时，即  $(A+I)^{n-1}$  为矩阵  $H$  的可达矩阵：

$$(A+I)^4 = (A+I)^5 =$$

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1

4) 根据可达矩阵可以得到可达集(Ri)、先行集(Qi)以及可达集与先行集的交集(Ri∩Qi)，如表 2 所示。

表 2 可达矩阵各元素之间的关系集合

<i>I</i>	<i>Ri</i>	<i>Qi</i>	<i>Ri∩Qi</i>
1	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13	1,2,7	1,2,7
2	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13	1,2,7	1,2,7
3	3,6	1,2,3,7,12	3
4	4,5,8,11,13	1,2,4,7	4
5	5	1, 2, 4, 5, 7, 8, 11, 13	5
6	6	1,2,3,6,7,12	6
7	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13	1,2,7	1,2,7
8	5,8,11,13	1,2,7,8,11,13	8,11,13
9	9	1,2,7,9	9
10	10	1,2,7,10	10
11	5,8,11,13	1,2,4,7,8,11,13	8,11,13
12	3,6,12	1,2,7,12	12
13	5,8,11,13	1,2,4,7,8,11,13	8,11,13

5) 建立解释结构模型。

依据装弹器技术性能指标组成的可达矩阵，以及表 2，当  $R_i = R_i \cap Q_i$  时，*i* 为最顶层元素，然后依次进行化简，得到顶到底 4 层元素集合，底层为最基础、最重要的元素集合，重要性底到顶依次递减。通过计算得出顶层指标  $S_5$ 、 $S_6$ 、 $S_9$ 、 $S_{10}$ ；第 2 层指标  $S_3$ 、 $S_8$ 、 $S_{11}$ 、 $S_{12}$ ；第 3 层指标  $S_4$ 、 $S_{13}$ ；底层指标  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_7$ 。可以通过有向线段绘制出其解释结构模型，如图 1 所示。

### 3.2 解释结构模型结论分析

从图 1 可以看出，性能指标体系是一个具有四阶递阶结构的层次，其中顶层为退弹功能、额定装弹、低压适应性和防爆性指标，在平时的训练过程中，这 4 个指标有一定实际用途，但是从实战角度出发，在遂行作战任务时，主要考虑火力的持续性，所以对于它们需求就不是十分必要。

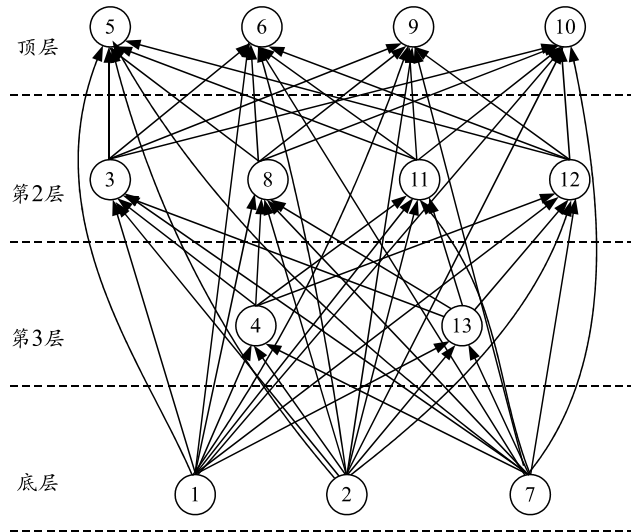


图 1 自动装弹器技术性能多级递阶层次结构模型

第 2 层是计数功能、低压适应性、便携性、快速检测报警。计数功能相对重要，提出计数功能这一指标是基于近些年枪弹管理的事故案件提出的，在实弹射击训练时，可有效地防治子弹丢失的现象。低压适应性和便携性都是考虑了实战化的应用，但在平时训练中，这 2 种指标普适性和效费比较低；快速检测报警指的是在装弹过程中，出现卡弹的现象，装弹器发出报警的声音，该指标有一定的重要性。

第 3 层为续航性和快速组装性。这 2 项指标都是装弹器在工作过程中比较重要的性能。装弹器是否能长时间平稳运行，是装备可靠性的重要指标。长时间的续航，在战场上，会极大地提高战士的火力打击能力，增强生存适应性；在实弹射击训练场上，装弹器的续航能力会直接影响到训练的效率；由于自动装弹器是模块化设计，在使用前或者在维修后有快速组装的能力十分关键，而且两者均可提高战士在战场的生存能力。

底层是快速装弹、自动排序、安全性。针对实战化训练的需求，这 3 个指标是设计生产以及优化自动装弹器核心指标。快速装弹是自动装弹器的一个极为重要的功能性指标；自动排序功能是快速装弹的必要条件，在将零散弹药放入容弹器后，对枪弹进行自动排序，而后进行快速装填；安全性指标是自动装弹器最重要的指标之一，在自动装弹过程中，枪弹的自动排序过程是通过容弹器以一定的震动使得枪弹自行进入轨道进行排序，震动时频率必须与枪弹能承受的频率为准；且推弹入弹匣以及自动排序过程中均存在一定的风险；因此，对于装弹

器推弹机构和自动排序机构的设计极为关键。

通过 ISM 方法对自动装弹器的指标进行分析，得出了装弹器指标重要度递阶层次，符合实际训练以及作战中的需求，提出的四阶层次重要度对装弹器的设计与改进有一定的指导作用。

### 3.3 基于 AHP<sup>[18-20]</sup>方法的改进

利用 ISM 对自动装弹器性能指标进行定性分析，大致确定了指标层级重要程度的划分，但重要度最强的底层 3 个指标顺序才是影响自动装弹器生产优化以及使用的关键。因此，采取 1-9 标度法<sup>[21]</sup>对底层 3 个指标以定量的方式进行综合分析，使得指标体系更加精准，现将 3 个性能指标进行分类，如表 3、4 所示。

表 3 各层之间的对应关系

目标层	指标层	子准则层
自动装弹	快速装弹	推弹杆速度 容弹器容量
	自动排序	导轨形状 传输方式
	装弹安全性	震动频率 卡弹

表 4 1-9 标度法

标度	含义
1	因素 <i>i</i> 对因素 <i>j</i> 的影响相同
3	因素 <i>i</i> 对因素 <i>j</i> 的影响稍大
5	因素 <i>i</i> 对因素 <i>j</i> 的影响大
7	因素 <i>i</i> 对因素 <i>j</i> 的影响很大
9	因素 <i>i</i> 对因素 <i>j</i> 的影响绝对大
2,4,6,8	因素 <i>i</i> 对因素 <i>j</i> 的影响之比在相邻个等级之间
1/9~1/2	因素 <i>i</i> 对因素 <i>j</i> 的影响之比与因素 <i>j</i> 对因素 <i>i</i> 互为倒数

表 5 随机一致性指标值

<i>n</i> (向量的阶数)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>RI</i>	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

根据专家经验和调研报告得出子准则层之间对目标层的综合判断矩阵：

$$\omega_z = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 & 1/5 & 1/4 & 1/7 \\ 1/2 & 1 & 1/5 & 1/8 & 1/7 & 1/9 \\ 3 & 5 & 1 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 5 & 8 & 2 & 1 & 1 & 1/2 \\ 4 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 9 & 2 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix}。$$

通过计算可得到最大特征值： $\lambda_{\max}=6.0967$ 。对  $\lambda_{\max}$  进行一致性检验，将判断矩阵中得到的最大特征值  $\lambda_{\max}$  代入可得： $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(6.0967-6)/(6-1)=0.0193$ ，对照表 5，可得  $\omega_z$  矩阵的随机一致性  $RI=1.24$ ， $CR=CI/RI=0.0193/1.24=0.0156 \leq 0.1$ ，即通过一致性检验，其特征向量为： $\omega_z=[0.0508 \ 0.0298 \ 0.1568 \ 0.2314 \ 0.2181 \ 0.3131]^T$ 。分别构建不同子准则层相对于指标层的判断矩阵。

相对于推弹杆速度的判断矩阵：

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1/2 \\ 5 & 2 & 1 \end{bmatrix}。$$

通过计算可得到最大特征值  $\lambda_{\max}=3.0037$ 。对  $\lambda_{\max}$  进行一致性检验，将判断矩阵中得到的最大特征值  $\lambda_{\max}$  代入可得： $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(3.0037-3)/(3-1)=0.00185$ ， $RI=0.58$ ， $CR=CI/RI=0.00185/0.58=0.0032 \leq 0.1$ ，即通过一致性检验。特征向量为： $\omega_1=[0.1096, \ 0.3091, \ 0.5813]^T$ 。

相对于容弹量的判断矩阵：

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/7 \\ 4 & 1 & 1/2 \\ 7 & 2 & 1 \end{bmatrix}。$$

通过计算可得到最大特征值  $\lambda_{\max}=3.0020$ 。对  $\lambda_{\max}$  进行一致性检验，将判断矩阵中得到的最大特征值  $\lambda_{\max}$  代入可得： $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(3.002-3)/(3-1)=0.001$ ， $RI=0.58$ ， $CR=CI/RI=0.001/0.58=0.0017 \leq 0.1$ 。即通过一致性检验。特征向量： $\omega_2=[0.0824, \ 0.3151, \ 0.6025]^T$ 。

相对于导轨形状的判断矩阵：

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 \\ 2 & 1 & 1/2 \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}。$$

通过计算可得到最大特征值  $\lambda_{\max}=3.0092$ 。对  $\lambda_{\max}$  进行一致性检验，将判断矩阵中得到的最大特征值  $\lambda_{\max}$  代入可得： $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(3.0092-3)/(3-1)=0.0046$ ，即通过一致性检验。特征向量为： $\omega_3=[0.1638, \ 0.2972, \ 0.2390]^T$ 。

相对于传输方式的判断矩阵：

$$B_4 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}。$$

通过计算可得到最大特征值  $\lambda_{\max}=3.0037$ 。对  $\lambda_{\max}$  进行一致性检验，将判断矩阵中得到的最大特

征值  $\lambda_{\max}$  代入可得： $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = (3.0037 - 3)/(3 - 1) = 0.00185$ ， $RI = 0.58$ ， $CR = CI/RI = 0.0037/0.58 = 0.0064 \leq 0.1$ ，即通过一致性检验。

特征向量为： $\omega_0 = [0.6479, 0.2299, 0.1222]^T$ 。

相对于振动频率的判断矩阵：

$$B_5 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/4 \\ 2 & 1 & 1 \\ 4 & 1 & 1 \end{bmatrix}。$$

通过计算可得到最大特征值  $\lambda_{\max} = 3.0536$ 。对  $\lambda_{\max}$  进行一致性检验，将判断矩阵中得到的最大特征值  $\lambda_{\max}$  带入可得： $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = (3.0536 - 3)/(3 - 1) = 0.0268$ ， $RI = 0.58$ ， $CR = CI/RI = 0.0268/0.58 = 0.0462 \leq 0.1$ ，即通过一致性检验。特征向量为： $\omega_0 = [0.1513, 0.3767, 0.4720]^T$ 。

相对于卡弹的判断矩阵：

$$\omega = \omega_i \cdot \omega_z =$$

$$\begin{bmatrix} 0.1096 & 0.0824 & 0.1638 & 0.6479 & 0.1513 & 0.1018 \\ 0.3091 & 0.3151 & 0.2972 & 0.2299 & 0.3767 & 0.5321 \\ 0.5813 & 0.6025 & 0.5390 & 0.1222 & 0.4720 & 0.3661 \end{bmatrix} * [0.0508 \ 0.0298 \ 0.1568 \ 0.2314 \ 0.2181 \ 0.3131]^T = \begin{bmatrix} 0.2485 \\ 0.3737 \\ 0.3778 \end{bmatrix}。$$

$\omega = [0.2485 \ 0.3737 \ 0.3778]^T$  作为指标层的定量化判断依据，得到底层指标重要度排序为：装弹安全性 > 自动排序 > 快速装弹。这一排序符合装备的生产和使用原则。装弹安全是最基础也是最重要的指标，是装备能否最大限度发挥效能的最关键因素；子弹自动排序是自动装弹的前提和基础，同时自动排序也会对装弹安全产生一定的影响。如在装弹过程中，出于安全性考虑，容弹器的震动频率和子弹自身的频率应不一致；因此，自动排序指标仅次于安全性指标。虽然子弹快速装填指标也是基础指标，但其要建立在装弹安全性和自动排序的基础上。将 APH 运用在 ISM 方法之上，对完善自动装弹器的指标评估一定程度降低了主观权重，同时也得到了更清晰的重要度关系。

#### 4 结束语

笔者基于系统工程原理的装备“六性”提出自动装弹器的性能指标，运用 ISM 方法结合指标间相互关系得到判断矩阵，根据可达矩阵得出自动装弹器的性能指标形成多级层次递阶结构模型，其中不同层次的指标代表了在设计制造优化过程中的重要度不同。依据机械设计原理指出底层 3 个重要指标

$$B_6 = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/5 \\ 4 & 1 & 2 \\ 5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}。$$

通过计算可得到最大特征值  $\lambda_{\max} = 3.0940$ 。对  $\lambda_{\max}$  进行一致性检验，将判断矩阵中得到的最大特征值  $\lambda_{\max}$  代入可得： $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = (3.0940 - 3)/(3 - 1) = 0.047$ ， $RI = 0.58$ ， $CR = CI/RI = 0.047/0.58 = 0.0810 \leq 0.1$ ，即通过一致性检验。特征向量为： $\omega_0 = [0.1018, 0.5321, 0.3661]^T$ 。

由  $\omega_0$  构成的矩阵：

$$\omega_i = \begin{bmatrix} 0.1096 & 0.0824 & 0.1638 & 0.6479 & 0.1513 & 0.1018 \\ 0.3091 & 0.3151 & 0.2972 & 0.2299 & 0.3767 & 0.5321 \\ 0.5813 & 0.6025 & 0.5390 & 0.1222 & 0.4720 & 0.3661 \end{bmatrix}。$$

所以各准则层指标权重排序为：

的关键技术，基于层次分析法对 ISM 方法构建装弹器的指标递阶层次模型进行补充和完善，进一步定量综合分析并确定了底层指标的重要程度，指出装弹安全是最重要的指标，为生产设计以及优化提供了依据。

#### 参考文献：

- [1] 重庆中冶金有限公司. 枪弹装弹器: 200620110694. 5[P]. 2007-08-08.
- [2] 浙江大学. 基于摩擦传送与螺旋传送的子弹装填系统: 201210115752. 3[P]. 2012-04-19.
- [3] 威士达户外作业有限公司. 电子弹匣装载器: 美国 201880090687. 9[P]. 2018-11-30.
- [4] 泰安市晓兰义精密设备有限公司. 一种智能化全自动装填系统: 201820588462. 3[P]. 2018-04-24.
- [5] 信阳圆创磁电科技有限公司. 一种磁铁弹匣上料机: 202022474005. 1[P]. 2021-06-25.
- [6] RAJESH A, NIKHIL D, VIVEK S. Interpretive Structural Modelling (ISM) approach: An Overview[J]. Research Journal of Management Sciences, 2001, 2(2), 3-8.
- [7] 张宇飞, 汪送, 段雄义. 集成 DEMATEL-ISM 的防暴弹药寿命影响因素分析[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(12): 35-39.