

doi: 10.7690/bgzd.2023.10.009

## 基于物元-AHP模型的炮兵作战指挥效能评估

王善善

(陆军炮兵防空兵学院, 合肥 230031)

**摘要:** 为科学准确地评估作战指挥效能, 在可拓物元理论相关知识的基础上结合层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 构建物元-AHP 模型。在对影响待评对象各指标因素进行分析建立递阶指标评价体系的基础上, 运用 AHP 确定各级指标权重系数; 对待评对象进行物元分析, 计算出节域及经典域的标准值区间; 进行关联度计算, 得出综合评判等级。结果表明: 运用该模型对炮兵作战指挥效能进行评估, 能直观展现各级指标对评估结果的贡献率, 为提高部队作战指挥质效提供借鉴。

**关键词:** 炮兵; 物元-AHP 模型; 指挥效能

**中图分类号:** TJ306 **文献标志码:** A

## Effectiveness Evaluation of Artillery Operational Command Based on Matter-element and AHP Model

Wang Shanshan

(Army Artillery Air Defense Academy, Hefei 230031, China)

**Abstract:** In order to evaluate the operational command effectiveness scientifically and accurately, the matter-element AHP model is constructed based on the knowledge of extension physical element and AHP. On the basis of establishing the hierarchical index evaluation system by analyzing the factors affecting each index of the object to be evaluated, the weight coefficients of indexes at all levels are determined by using the analytic hierarchy process; the standard value intervals of the joint domain and the classical domain are calculated by using the matter-element analysis of the object to be evaluated; and the comprehensive evaluation grade is obtained by calculating the correlation degree. The results show that using the model to evaluate the effectiveness of artillery operational command can intuitively show the contribution rate of all levels of indicators to the evaluation results, and provide a reference for improving the quality and effectiveness of artillery operational command.

**Keywords:** artillery; matter element and AHP model; command effectiveness

### 0 引言

基于网信体系下的炮兵精确作战, 作战手段已由直接压制和歼灭转为非接触状态下的实体摧毁和结构瘫痪, 对其作战指挥效能的评估不仅需要定性描述, 更需要定量分析。物元-AHP 模型整合了物元分析定量描述和层次分析法 (AHP) 合理确定指标体系的相关优势, 运用物元理论对指挥效能这一待评对象进行定量描述, 利用 AHP 对影响炮兵作战指挥效能的相关因素进行分析, 从指挥科学性、时效性、人员指标等方面构建待评对象的递阶指标体系, 进行关联度计算, 从而实现对待评对象的精准评估。物元-AHP 模型可设置多个评估等级层次, 不仅能够得出待评对象最终的评估结果, 而且能直观地展现各指标对评估结果的影响大小, 从而能够针对性地查找出制约作战指挥质效提升的漏洞和不

足, 对提高炮兵作战指挥效能具有重要意义。

### 1 物元-AHP 模型相关概念

可用于评估作战指挥效能的方法很多<sup>[1-3]</sup>, 其中有些侧重于定性, 有些侧重于定量, 有些是定性与定量相结合, 但在对复杂多目标进行评价时, 普遍存在客观性和动态性不强的问题。物元-AHP 模型是综合物元分析理论和 AHP 构建的效能评估模型, 首先对影响评价对象的各指标因素进行分析, 建立递阶指标评价体系; 然后对评价对象进行物元分析, 计算出节域及经典域的标准值区间, 建立比较矩阵, 使用 AHP 确定各指标权重, 进行关联度的计算, 得出综合评判等级<sup>[4]</sup>。物元-AHP 模型是一种在定性确定指标评价体系基础上定量计算的评估方法, 相比 AHP 增加了关联度的计算与分析, 克服了过多依赖指标权重的缺点。

收稿日期: 2023-06-06; 修回日期: 2023-07-05

作者简介: 王善善 (1989—), 男, 山东人, 硕士。

物元是物元分析理论的基础元素，物元 3 要素为事物、事物的特征及事物特征的量值，如果用  $M$  代表事物，用  $C$  代表事物的特征，用  $X$  代表事物特征的量值，由三者组成的有序三元组  $(M, C, X)$  称为物元<sup>[5]</sup>。评估时，首先要进行评估等级的划分，然后对不同等级的取值范围进行界定。待评指标的经典域为所选定的评价指标标准值的区间等级，节域范围相对更广，是指所选定的评价指标标准值所有范围。在进行关联度计算之前要确定各个指标的权重，笔者采用 AHP 法确定指标权重。确定炮兵作战指挥效能所要达到的目标要求，据此找出影响此目标达到的分指标，再将分指标分解直到最底层的各因素，以此形成待评目标的指标评价体系<sup>[6]</sup>。指标评价体系由不同层次的分指标组成，由于同层次各指标重要程度各不相同，可采取专家打分法互相进行比较，并对数值进行归一化处理，最终得出各指标权重值。关联度是待评对象对某标准范围符合程度的反映，能够得出待评对象的具体评价等级。当关联度数值大于 0 时，表示待评对象符合某标准范围，数值和符合程度成正比。当关联度数值小于 0 时，表示待评对象不符合某标准范围，数值越小，符合的程度越差<sup>[7]</sup>。物元-AHP 模型流程如图 1 所示。

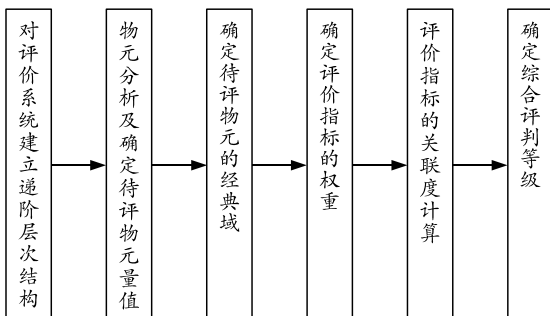


图 1 物元-AHP 模型流程

## 2 构建物元-AHP 模型

### 2.1 确定待评物元

假设  $R_o$  表示待评目标各项评价指标的相关取值，则：

$$R_o = (N_o, c_i, x_i) = \begin{bmatrix} N_o & c_1 & x_1 \\ & c_2 & x_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_n \end{bmatrix}. \quad (1)$$

式中： $N_o$  为待评估目标的状况等级； $c_i(i=1, 2, \dots, n)$  为  $N$  特征； $x_i(i=1, 2, \dots, n)$  为  $N_o$  关于特征  $c_i(i=1, 2, \dots, n)$  所取的数值。

### 2.2 确定经典域和节域

假定  $R_j$  表示经典域，则：

$$R_j = (N_j, c_i, X_{ji}) = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & X_{j1} \\ & c_2 & X_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & X_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{jn}, b_{jn} \rangle \end{bmatrix}. \quad (2)$$

式中： $N_j(j=1, 2, \dots, n)$  为需要划分的评估等级； $c_i(i=1, 2, \dots, n)$  为分项指标，即表示相应评估等级特征； $X_{ji} = \langle a_{ji}, b_{ji} \rangle$  为  $N_j$  关于  $c_i$  所规定的量值范围。 $X_{ji} = \langle a_{ji}, b_{ji} \rangle$  就是笔者所说的经典域。

$$R_p = (N_p, C_i, X_{pi}) = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & X_{p1} \\ & c_2 & X_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & X_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix}. \quad (3)$$

式中： $N_p$  为所有的评估等级； $X_{pi} = \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$  为  $N_p$  关于特征  $c_i$  的取值范围。 $X_{pi} = \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$  就是笔者所说节域，显然有  $X_{ji} < X_{pi}$ 。

### 2.3 确定评价指标权重

首先，建立指标评价体系，逐次列出影响待评目标的各因素，形成一个递阶、有序的影响因素层次体系，而后构建出比较矩阵如表 1 所示。

表 1 判断矩阵构建

评价指标	$B_1$	$B_2$	...	$B_N$
$B_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	...	$b_{1N}$
$B_2$	$b_{21}$	$b_{22}$	...	$b_{2N}$
...	...	...	...	...
$B_N$	$b_{N1}$	$b_{N2}$	...	$b_{NN}$

上表为判断矩阵的表达式， $B_1, B_2, B_3, \dots, B_N$  表示与  $B$  元素有关的下一层次元素； $b_{ij}$  表示指标  $B_i$  与指标  $B_j$  之间对待评对象影响程度的比值，为便于计算及统计数值，可采用数值 1~9 表示  $b_{ij}$ 。则  $b_{ij}$  为相应 1~9 数值的倒数。

### 2.4 计算关联度

关联度表示评价指标符合某标准范围的隶属程度，评价指标  $N$  的评价指标  $C_i$  关于评估等级  $j$  的关联度可以表示为：

$$K_j(x_j) = \begin{cases} \rho(x_i, X_{ji}) / (\rho(x_i, X_{pi}) - \rho(x_i, X_{ji})) & x_i \notin X_{ji} \\ -\rho(x_i, X_{ji}) / |X_{ji}| & x_i \in X_{ji} \end{cases}. \quad (4)$$

其中：

$$\rho(x_i, X_{ji}) = \left| x_i - (a_{ji} + b_{ji})/2 - (b_{ji} - a_{ji})/2 \right| \quad (5)$$

$$\rho(x_i, X_{pi}) = \left| x_i - (a_{pi} + b_{pi})/2 - (b_{pi} - a_{pi})/2 \right|$$

式中： $\rho(x_i, X_{ji})$ 为点  $x_i$  到经典域  $X_{ji}$  的距离； $\rho(x_i, X_{pi})$  为点  $x_i$  到节域  $X_{pi}$  的距离。假设  $W_i$  表示评价指标  $C_i$  权系数，则  $W_i$  应当满足：

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1. \quad (6)$$

则待评估目标  $N$ ，相对于评价等级  $j$  的关联度，可表示为：

$$K_j(N) = \sum_{i=1}^n W_i K_j(x_i). \quad (7)$$

### 2.5 等级评定

若  $K_{j_0}(N_0) = \max K_j(N_0)$ ,  $j_0 \in (1, 2, \dots, m)$  则可以

为  $N_0$  属于等级  $j_0$ ；当  $K_{j_0}(N_0) > 0$  时，代表评估对象符合该评价等级，且  $K_{j_0}(N_0)$  越大，代表越靠近等级  $j_0$ ，符合程度越好；当  $K_{j_0}(N_0) < 0$  时，代表评估对象不符合该评估等级，且  $K_{j_0}(N_0)$  越小，代表越远离等级  $j_0$ ，则符合程度不够好。

## 3 实例分析

### 3.1 建立指标评价体系

炮兵作战指挥效能的影响因素众多，各因素之间关系复杂。笔者主要从科学性指标、时效性指标、稳定性指标、综合防护指标、人员指标和指挥保障指标 6 方面对炮兵作战指挥效能进行定性描述<sup>[8]</sup>，结合实际情况进行分析，建立指标评价体系如图 2 所示。

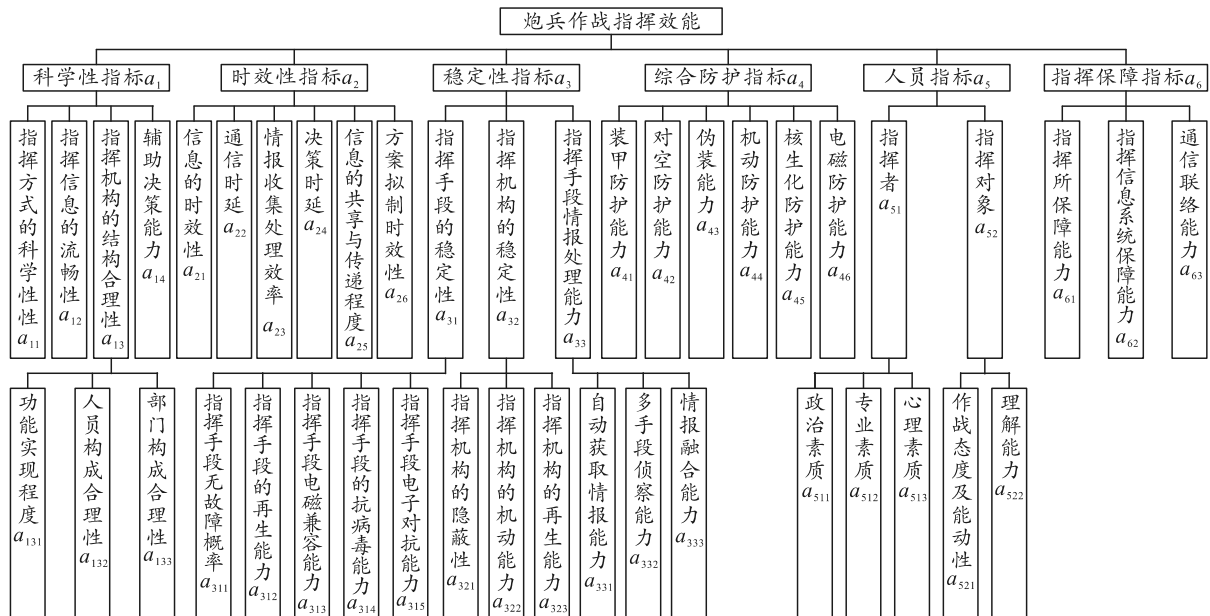


图 2 炮兵作战指挥效能评估指标体系

### 3.2 物元分析

对于上图评估指标体系的各指标，根据炮兵作战指挥实案中相关表现，从标度 1~9 中进行专家打分，确定相关指标数值，如表 2 所示。

笔者将炮兵作战指挥效能等级定为：好( $N_4$ )、较好( $N_3$ )、一般( $N_2$ )、较低( $N_1$ )4 个等级，并列出了每个评估等级相应的取值范围。

经典域可以确定为：

$$R_1 = \begin{bmatrix} N_1 & a_1 & \langle 1.0, 4.0 \rangle \\ & a_2 & \langle 1.0, 4.0 \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & f_{33} & \langle 1.0, 4.0 \rangle \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} N_2 & a_1 & \langle 4.0, 6.0 \rangle \\ & a_2 & \langle 4.0, 6.0 \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & f_{33} & \langle 4.0, 6.0 \rangle \end{bmatrix}; \quad (9)$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} N_3 & a_1 & \langle 6.0, 8.0 \rangle \\ & a_2 & \langle 6.0, 8.0 \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & f_{33} & \langle 6.0, 8.0 \rangle \end{bmatrix}; \quad (10)$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} N_4 & a_1 & \langle 8.0, 9.0 \rangle \\ & a_2 & \langle 8.0, 9.0 \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & f_{33} & \langle 8.0, 9.0 \rangle \end{bmatrix}. \quad (11)$$

节域可以确定为:

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p & a_1 & \langle 1.0, 9.0 \rangle \\ & a_2 & \langle 1.0, 9.0 \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & a_d & \langle 1.0, 9.0 \rangle \end{bmatrix}. \quad (12)$$

### 3.3 计算指标权重

运用 AHP 相关理论,对评估指标体系中的同一层次各指标影响程度进行对比,列出比较矩阵,并对数值进行归一化处理,计算出各评价指标的权重值如表 3 所示。

表 2 各个评价指标的量值

指标	量值	指标	量值	指标	量值	指标	量值	指标	量值	指标	量值	指标	量值
$a_{131}$	4.8	$a_{314}$	6.7	$a_{332}$	5.8	$a_{12}$	4.6	$a_{24}$	7.4	$a_{43}$	8.6	$a_{61}$	7.7
$a_{132}$	6.7	$a_{315}$	5.8	$a_{511}$	5.6	$a_{13}$	5.4	$a_{26}$	6.4	$a_{44}$	6.5	$a_{62}$	6.9
$a_{133}$	4.7	$a_{321}$	8.4	$a_{512}$	4.7	$a_{14}$	4.8	$a_{31}$	5.8	$a_{45}$	7.6	$a_{63}$	7.3
$a_{311}$	5.3	$a_{322}$	5.9	$a_{513}$	5.4	$a_{21}$	6.5	$a_{32}$	9.1	$a_{46}$	5.4		
$a_{312}$	5.1	$a_{323}$	6.4	$a_{521}$	4.7	$a_{22}$	7.1	$a_{33}$	9.1	$a_{51}$	8.6		
$a_{313}$	4.6	$a_{331}$	6.8	$a_{11}$	4.5	$a_{23}$	7.1	$a_{42}$	5.6	$a_{52}$	7.8		

### 3.4 关联度计算和等级评定

由表 2 可得出炮兵作战指挥中各评价指标的量值,由表 3 可得出各评价指标的权重值,代入上述物元-AHP 模型中关联度的计算方式,可计算出各指标以及评估对象关于各评估等级的关联度。指挥保障指标有 3 个分指标,分别为指挥所保障能力、指挥信息系统保障能力及通信联络能力,关于各等

级的关联度为:

$$\begin{aligned} K_1(a_{61}) &= -0.496, K_2(a_{61}) = -0.159, \\ K_3(a_{61}) &= 0.246, K_4(a_{61}) = -0.377, \\ K_1(a_{62}) &= -0.613, K_2(a_{62}) = -0.369, \\ K_3(a_{62}) &= 0.442, K_4(a_{62}) = -0.376, \\ K_1(a_{63}) &= -0.759, K_2(a_{63}) = -0.599, \\ K_3(a_{63}) &= 0.098, K_4(a_{63}) = -0.143. \end{aligned} \quad (13)$$

表 3 各个评价指标的权重

指标	量值	指标	量值	指标	量值	指标	量值	指标	量值	指标	量值	指标	量值
$a_{131}$	0.3	$a_{314}$	0.2	$a_{332}$	0.3	$a_{12}$	0.2	$a_{24}$	0.2	$a_{43}$	0.2	$a_{61}$	0.1
$a_{132}$	0.3	$a_{315}$	0.2	$a_{511}$	0.5	$a_{13}$	0.3	$a_{26}$	0.2	$a_{44}$	0.2	$a_{62}$	0.2
$a_{133}$	0.4	$a_{321}$	0.2	$a_{512}$	0.3	$a_{14}$	0.3	$a_{31}$	0.4	$a_{45}$	0.2	$a_{63}$	0.7
$a_{311}$	0.2	$a_{322}$	0.4	$a_{513}$	0.2	$a_{21}$	0.1	$a_{32}$	0.3	$a_{46}$	0.1		
$a_{312}$	0.2	$a_{323}$	0.4	$a_{521}$	0.6	$a_{22}$	0.2	$a_{33}$	0.3	$a_{51}$	0.5		
$a_{313}$	0.2	$a_{331}$	0.5	$a_{11}$	0.2	$a_{23}$	0.2	$a_{42}$	0.1	$a_{52}$	0.5		

指挥保障指标关于各个评价等级的关联度:

$$\begin{aligned} K_1(a_6) &= -0.6099, K_2(a_6) = -0.3512, \\ K_3(a_6) &= -0.3201, K_4(a_6) = -0.3029. \end{aligned} \quad (14)$$

评估对象关于评价等级的关联度计算结果如表 4 所示。

从表 4 中可以得出,炮兵作战指挥效能中,科学性指标和人员指标评价为好,时效性指标、稳定性指标和指挥保障指标的评价为较好,综合防护指标评价为一般。

评估对象关于评估等级的关联度如表 5 所示。

表 4 评价指标关于评估等级的关联度

一级指标	科学性	时效性	稳定性	综合防护	人员指标	指挥保障
$N_1$	-0.3579	-0.5810	-0.3251	-0.4602	-0.8489	-0.6099
$N_2$	-0.3891	-0.8802	-0.2753	0.0057	-0.2704	-0.3512
$N_3$	-0.6609	0.8003	0.5504	-0.2461	-0.2498	0.3201
$N_4$	0.5397	-0.4995	-0.6331	-0.5990	0.2621	-0.3029

表 5 评估对象关于评估等级的关联度

对象	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$
作战指挥效能	-0.6202	-0.3713	0.2005	-0.2314

依据上表中数据可以看出,炮兵作战指挥效能可以评估为整体较好。从各个评价指标来看,作战指挥的科学性和指挥人员的素养评价为好,说明随着指挥信息系统的广泛使用和系统辅助决策能力的提升,作战指挥更加快捷高效。综合防护指标评价为一般,在下步的建设过程中,应重点加强指挥所

的综合防护能力。

## 4 结束语

笔者首先构建物元-AHP 模型,结合炮兵作战指挥实际,从指挥科学性、时效性、稳定性等方面建立指标评价体系。在运用 AHP 得出各指标权重值的基础上,对炮兵作战指挥效能这一待评对象进行物元分析,区分 4 个效能等级进行关联度计算,实现了对炮兵作战指挥效能的量化评估,对提高炮兵

作战指挥质效具有一定参考意义。由于指标评价体系的构建具有一定的主观性，对相同的待评对象、不同的评估者有可能会得出不同的评估结果<sup>[9]</sup>；因此，对于炮兵作战指挥效能的评估，可采取多种评估手段得出的评估结果加权，进而得出可信度较高的评估结论。

参考文献：

[1] 于忠琳, 高新雨, 段金升. 基于组合赋权-模糊评判的反舰导弹协同作战效能评估[J]. 兵工自动化, 2022, 41(1): 30-33.  
 [2] 潘长鹏, 王中发, 王海涛, 等. 基于 BP 神经网络的舰载机对陆打击作战效能评估[J]. 兵工自动化, 2022, 41(12): 9-12.  
 [3] 薛军帅, 张迪, 黄勇, 等. 一种基于 AHP-可拓云的雷

达系统效能评估方法[J]. 兵工自动化, 2022, 41(4): 81-86.  
 [4] 赵彬, 黄志坚, 朱启明. 基于 AHP-FCE 法的指挥控制能力系统效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(5): 104-107.  
 [5] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术出版社, 1994: 34-37.  
 [6] 刘姜湘, 黄剑梅. 联合作战炮兵火力毁伤评估机构建立构想[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(11): 114-146.  
 [7] 王艺潼. 基于综合赋权物元模型的市政交通工程 BIM 技术应用风险评价[D]. 天津: 天津大学, 2018.  
 [8] 徐阳. 炮兵作战指挥效能评估模型与算法实现[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.  
 [9] 汪文革, 黄国华, 杜锐. 模糊综合评判法评估炮兵作战指挥效能研究[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(12): 123-125.

\*\*\*\*\*

(上接第 28 页)

表 3 地板高度为 0.32 m 附面层厚度 mm

风速/ (m/s)	模型中心 前 1.1 m	模型中心 前 0.55 m	模型 中心	模型中心 后 0.55 m	模型中心 后 1.1 m
50	25	30	35	45	55
60	21	30	35	35	55
70	21	25	35	35	45

表 4 地板高度为 0.52 m 附面层厚度 mm

风速/ (m/s)	模型中心 前 1.1 m	模型中心 前 0.55 m	模型 中心	模型中心 后 0.55 m	模型中心 后 1.1 m
50	25	30	45	45	55
60	21	30	35	35	45
70	21	25	35	35	45

4 结论

笔者对固定地板的结构开展了优化研究，设计了非接触式测距随动密封装置。优化后的固定地板，使低速风洞的关键性能参数满足实验要求，具有安装维护方便、响应时间快以及干扰影响小等优点。该固定地板解决了支杆在地板中自由运动的关键难题，并得到以下结论：

- 1) 吸除缝可以使模型区附面层厚度更低，并且附面层厚度随地板位置的变化更小，附面层厚度值更稳定；
- 2) 吸除缝会使附面层厚度在吸除缝位置出现跳跃，影响气流变化；
- 3) 地板前缘半径增加会使得前缘速度梯度降低，气流更好地沿地板上表面流动，进而使地板上方的附面层状态更优；
- 4) 非接触式支杆随动密封装置能够避免模型

支杆与密封装置的直接接触，有效地适应不同类型的支杆，具有良好的使用性和维护性。

参考文献：

[1] ALAN P, JOHN J P. 低速风洞试验[M]. 彭锡铭, 严俊仁, 石佑伦, 等, 译. 北京: 国防工业出版社, 1977: 301-303.  
 [2] 王铁城, 吴志成, 肖人熙, 等. 空气动力学实验技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1986: 138-139.  
 [3] 徐彦军, 李翼鑫. 地面效应对着舰精度的影响及操控策略[J]. 兵器装备工程学报, 2011(12): 117-119.  
 [4] 张传侠, 吕水燕, 谢波涛. 强地效环境下有翼火箭侧翼气动特性研究[J]. 兵器装备工程学报, 2018(9): 89-92.  
 [5] 方跃, 周治宇, 张连河. 地效试验数据的估算研究[J]. 绵阳: 实验流体力学, 2015, 29(1): 60-65.  
 [6] 李明, 王玉成. 直升机动态地效空气动力学试验研究[J]. 景德镇: 直升机技术, 2009, 155: 116-120.  
 [7] 林海. 飞机地面效应及其试飞方法[J]. 西安: 飞行力学, 1996, 14(4): 52-58.  
 [8] OLSON W M, COLGREN R D. Ground effect determination of a piper Comanche[R]. AIAA, 2003-5316.  
 [9] CURTIS P. A review of the status of ground effect/environment technologies[R]. AIAA, 2002-5985.  
 [10] MORRIS S, BUTLER R, SLANE J. Analysis of a hover-wing in ground effect[R]. AIAA, 2008-431.  
 [11] 胡天勇. 低速风洞活动地板关键技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2007: 1-3.  
 [12] 刘赞. 风洞地效试验台面自动升降装置控制系统研制[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2018: 4-5.

