

基于方案满意度的火炮内弹道优化设计*

王敬

(桂林空军学院, 广西桂林 541003)

摘要:火炮内弹道设计的关键是弹道方案的选择, 弹道方案选择属于一类多指标优化问题, 最优解依赖于指标权重。文中针对指标权重信息不完整的情况, 依据弹道方案综合指标理想值、负理想值建立弹道方案满意度的概念, 并通过求解一系列关于弹道方案线性规划和一个方案满意度线性规划, 分别获得综合指标理想值、负理想值和指标权重值, 从而得到各可行弹道方案的优劣顺序。某型火炮的计算实例表明, 该方法是有有效的。

关键词:火炮内弹道; 多目标优化; 弹道方案

中图分类号: TJ012.14 **文献标志码:** A

An Optimal Design Based on Satisfactory Degree of Gun's Interior Ballistics

WANG Jing

(Guilin Air Force Academy, Guangxi Guilin 531003, China)

Abstract: The key of gun's interior ballistics design is optimal scheme selection, which is an issue of multi-objective optimization, and the solution is dependent on the selection of target-weight. The satisfactory degree of schemes were presented based on complex ideal target value and negative ideal value in the thesis, which were gotten by solving a series of linear program for schemes and the target-weight was the optimal solution of a linear program for maximum satisfactory degree. Therefore, the priority of schemes was dependent on their complex target values. Finally, a numerical example was given to show the rationality and effectiveness of this method.

Keywords: interior ballistics; multi-objective optimization; ballistics scheme

0 引言

火炮内弹道设计是火炮-弹药系统设计的重要组成部分之一, 火炮内弹道设计的弹道方案选择过程实际上是一个多指标(目标)优化问题, 其关键问题是关于评价指标权重的确定。通常专家给定的客观权重不仅具有很强的个人偏好, 而且有时也难以给出一个确定的值, 无法应用经典线性加权优化算法进行求解, 给弹道设计工作带来了一定困难。文中给出的基于方案满意度的内弹道方案设计方法, 能够在指标权重信息不完整(只能给出评价指标权重的上下界)的情况下, 对弹道方案进行优劣排序, 从而使优化结果不过分依赖于人的干预, 更具科学性。

1 模型描述

一个具有 m 个评价指标和 n 个可行方案火炮内弹道多指标优化模型的规范化决策矩阵为:

$$R = \begin{matrix} x_1 & \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{pmatrix} \\ x_2 & \\ \vdots & \\ x_n & \end{matrix} \quad (1)$$

$f_1 \quad f_2 \quad \cdots \quad f_m$

其中, 各指标的意义及规范化算法参见文献[2]。

2 基于方案满意度的排序方法

该方法与 TOPSIS^[2] 方法类似, 所不同的是, 指标权重信息不完整, 指标权重值由基于方案满意度的思想, 通过求解关于弹道方案满意度极大线性规划获得。

2.1 主要概念

定义1 $z(x_i) = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} (i \in N)$ 为方案 x_i 的综合权重指标值, 其中 w_j 为指标 f_j 的权重值。

显然, 当指标权重 w_j 已知时, 各方案的综合权重

* 收稿日期: 2010-09-19

作者简介: 王敬(1962-), 女, 河南信阳人, 副教授, 博士, 研究方向: 兵器发射理论与技术。

指标值即为弹道方案优劣顺序的依据,可以按照方案综合权重指标值的大小对方案进行排序.对于规范为极小化问题模型(1),方案综合权重指标值越小,方案越优.但是,当指标权重信息不完整时,包括经典线性加权优化方法在内的一些基于权重信息的优化方法将失效.

定义 2 $z_i^* = \sum_{j=1}^m \omega_j r_{ij} (i \in N)$ 为方案 x_i 的综合权重指标理想值,若 $w = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ 为线性规划:

$$(M1) \begin{cases} \min z(x_i) = \sum_{j=1}^m \omega_j r_{ij}, (i \in N) \\ \text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^m \omega_j = 1 \\ \omega_j \geq 0 \end{cases} \end{cases}$$

的最优解。

定义 3 $z_i^- = \sum_{j=1}^m \omega_j r_{ij} (i \in N)$ 为方案 x_i 的综合权重指标负理想值,若 $w = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ 为线性规划:

$$(M2) \begin{cases} \max z(x_i) = \sum_{j=1}^m \omega_j r_{ij}, (i \in N) \\ \text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^m \omega_j = 1 \\ \omega_j \geq 0 \end{cases} \end{cases}$$

的最优解。

由上述定义可知,综合权重指标理想值和负理想值分别为各方案的两个极限值,某个方案若距离理想值越近同时距离负理想值越远,则该方案越优,反之亦然,因此引入如下满意度概念。

定义 4 $\mu(x_i) = \frac{z(x_i) - z_i^-}{z_i^- - z_i^*}, (i \in N)$ 为方案 x_i 的满意度。

显然,满意度越大,方案越优,在统一标准和无偏

爱的条件下,指标权重值为线性规划:

$$(M3) \begin{cases} \max \mu = \sum_{i=1}^n \mu(x_i, w) \\ \text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^m \omega_j = 1 \\ \omega_j \geq 0 \end{cases} \end{cases}$$

的解 $w^* = (\omega_1^*, \omega_2^*, \dots, \omega_m^*)^T$,因此各方案的综合权重指标为:

$$z(x_i) = \sum_{j=1}^m \omega_j^* r_{ij} (i \in N) \quad (2)$$

各弹道方案即可按照综合权重指标的大小进行排序,对于极小化问题,综合权重指标值小者为最优方案。

2.2 算法步骤

1) 分别求解系列线性规划(M1),得到方案综合权重指标理想值 $z^* = (z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*)^T$;

2) 分别求解系列线性规划(M2),得到方案综合权重指标理想值 $z^- = (z_1^-, z_2^-, \dots, z_n^-)^T$;

3) 由定义 1 计算各方案的满意度(方案满意度为指标权重的线性函数):

$$\mu(x, w) = \left(\frac{z_1 - z_1^-}{z_1^- - z_1^*}, \frac{z_2 - z_2^-}{z_2^- - z_2^*}, \dots, \frac{z_n - z_n^-}{z_n^- - z_n^*} \right)^T \quad (3)$$

4) 求解线性规划(M3),得到方案的综合权重指标向量 $w^* = (\omega_1^*, \omega_1^*, \dots, \omega_m^*)^T$;

5) 计算各方案的综合权重指标值 $z(x_i^*) = \sum_{j=1}^m \omega_j^* r_{ij} (i \in N)$,并按其值从小到大的顺序对弹道方案进行优劣排序,排在前面的方案为优。

3 计算实例

某型火炮内弹道多指标优化方案-指标数据如表 1 所示。

表 1 方案-指标数据表

方案序号	Δ	Ω	p_m/MPa	$v_g/(\text{m/s})$	p_g/MPa	η_o	η_e	η_k
1	610	0.4464	236.31	994.34	87.45	0.2214	0.6649	0.5574
2	630	0.4375	241.17	996.99	84.79	0.2272	0.6575	0.5696
3	630	0.4464	245.63	1006.98	86.49	0.2271	0.6563	0.5484
...
47	790	0.4375	329.81	1075.54	82.74	0.2644	0.5921	0.4879

规范化决策矩阵^[3]为:

$$R = \begin{pmatrix} 0.1216 & 0.1415 & 0.1559 & 0.1303 & 0.1561 & 0.1495 \\ 0.1241 & 0.1418 & 0.1511 & 0.1336 & 0.1543 & 0.1528 \\ 0.1264 & 0.1433 & 0.1541 & 0.1335 & 0.1541 & 0.1471 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.1697 & 0.1530 & 0.1470 & 0.1555 & 0.1390 & 0.1309 \end{pmatrix}_{47 \times 6} \quad (4)$$

$$(M4) \begin{cases} \max \mu(w) = 3426.9w_1 + 3433.9w_2 + \\ 3427.3w_3 + 3438.3w_4 + 3430.6w_5 + \\ 3398.2w_6 - 3551.3 \\ \text{s. t} \begin{cases} 0.3 \leq w_1 \leq 0.5, 0.3 \leq w_2 \leq 0.5 \\ 0.13 \leq w_3 \leq 0.2, 0.02 \leq w_4 \leq 0.25 \\ 0.01 \leq w_5 \leq 0.2, 0.05 \leq w_6 \leq 0.2 \\ \sum_{i=1}^6 w_i = 1, w_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, 6 \end{cases} \end{cases}$$

方案权重指标理想值:

$$z^* = (0.1309, 0.1325, 0.1324, \dots, 0.1499)^T$$

方案权重指标理想值:

$$z^- = (0.1444, 0.1436, 0.1450, \dots, 0.1612)^T$$

由定义 1 计算各方案的满意度,建立关于指标权重的线性规划如下:

求解上述线性规划,得到:

$$w^* = (0.3, 0.3, 0.13, 0.21, 0.01, 0.05)^T$$

根据以上所得权重值,可方便的求得各方案的综

合权重指标值 $z(x_i) = \sum_{j=1}^m w_j^* r_{ij} (i \in N)$,按其值从小到大的顺序对 47 套弹道方案进行优化排序结果如表 2 所示。

表 2 优化结果

方案序号	z_i	Δ	Ω	p_m/MPa	$v_g/(\text{m/s})$	p_g/MPa	η_w	η_g	η_k
42	0.1474	790	0.3929	297.69	1011.70	75.23	0.2605	0.5948	0.5408
30	0.1476	750	0.4196	292.76	1030.97	80.74	0.2533	0.6120	0.5196
36	0.1484	770	0.4107	298.37	1028.56	78.61	0.2576	0.6034	0.5228
...
47	0.1565	790	0.4375	329.81	1075.54	82.47	0.2644	0.5921	0.4879

4 结论

火炮内弹道方案的满意度优化设计方法运用 TOPSIS 思想,通过求解一系列关于弹道方案综合指标权重的线性规划,获得弹道方案的综合权重指标理想值、负理想值和满意度,从而建立关于满意度极大的线性规划,该规划的解即为各指标权重值。最后遵循综合权重指标值对弹道方案进行排序,使得在指标权重信息不完整的条件下,能够对弹道方案进行综合评价。这种基于最优化思想获得的指标权重值,较仅凭经验直接给出的权重值更具科学性。该方法设计思想合理,便于实现编程计算,计算方法不受弹道方案集大小的限制。某型火炮的计算实例表明,方法有

效,可以作为火炮内弹道优化设计的理论基础。

参考文献:

[1] 金志明,袁亚雄.现代内弹道学[M].北京:北京理工大学出版社,1992.

[2] 王敬,季新源,袁亚雄.火炮内弹道设计方案多指标辅助优化分析[J].火炮发射与控制,2005(2):9-12.

[3] 徐泽水,孙在东.一种基于方案满意度的不确定多属性决策方法[J].系统工程,2001(3):76-79.

[4] 秦康寿.综合评价原理与应用[M].北京:电子工业出版社,2003.

[5] 魏世孝,周献中.多属性决策理论方法及其在 C³I 系统中的应用[M].北京:国防工业出版社,1998.