

doi: 10.7690/bgzdh.2015.09.023

# 小样本时间序列分析在遭遇段处理中的应用

段一萍

(中国人民解放军 92941 部队 96 分队, 辽宁 葫芦岛 125001)

**摘要:** 针对光电经纬仪对弹靶遭遇段测量时目标与视场产生的相对移动导致测量精度下降的问题, 提出一种将小样本时间序列数据处理方法应用到遭遇段处理中的方法。通过将小样本测量数据进行预处理, 剔除明显有误差的值, 对剔除的数据进行重构, 利用时间序列建模, 采用逆序检验法检验所构建的时间序列的平稳性, 并按照试验场景进行仿真计算。仿真结果证明: 该方法使得计算最近距离等重要遭遇段参数误差小于 0.5 m, 其精度满足试验要求, 验证了该方法的可行性。

**关键词:** 小样本; 时间序列; 光电经纬仪; 遭遇段

**中图分类号:** TJ768.3 **文献标志码:** A

## Application of Small Sample Time Series Analysis in Process of Encounter Phase

Duan Yiping

(No. 96 Team, No. 92941 Unit of PLA, Huludao 125001, China)

**Abstract:** Small sample time series analyzing method is employed to deal with the data from the encounter phase in which the precision of the photoelectric theodolite is debased thus the acquiring of high-precision parameter is out of the question because of the relative movement of the target to the field of view. Through pretreatment of small sample measurement data, reject error data, then reconstruct the rejected data, use time series to establish model, adopt reverse order detection method to establish time series stability, then carry out simulation calculation according to test environment. The simulation results show that: the method makes calculation error of important encounter phase such as mini distance is less than 0.5 m, its precision satisfies the test requirements and verify the feasibility.

**Keywords:** small sample; time series; photoelectric theodolite; encounter phase

### 0 引言

遭遇段参数是鉴定导弹武器系统战术技术指标的重要参数, 因此要完成遭遇段的高精度测量, 测量设备必须具有很高的精度、较高的数据率和可靠性<sup>[1-2]</sup>。由于目前光测多采用双站交会测量方法, 因此对计算遭遇段参数而言, 必须至少有 2 台经纬仪同时跟踪且需要有 3 张以上的协同画幅<sup>[2]</sup>。光学经纬仪目前的采样频率为 40~100 帧/s, 由于弹、靶遭遇时, 相对速度大、时间短, 一般情况下只有数百毫秒, 再加上目标到经纬仪的相对空间位置, 经纬仪成像视场的限制等因素的综合效应, 使实际测量时所得到的同帧画幅数极其有限<sup>[3]</sup>。

时间序列分析作为一种有效的建模方法, 要求测量数据样本不能少于 50 个, 且测量时间等间隔<sup>[4]</sup>。对于光学测量中有协同画幅的遭遇段数据显然是一种小子样的数据, 如前所述其观测样本通常小于 50 个, 因此研究小样本时间序列数据处理方法是必要的。

### 1 小样本测量数据的预处理

对于遭遇段数据, 弹或靶总有一个位于视场中心基本不动, 而另一个则贯穿整个视场<sup>[5]</sup>, 文献[5]中提到: 只要目标在视场中存在相对移动, 测量精度就会下降, 并且相对运动越大, 其精度下降就会越严重。若直接利用这些数据进行建模分析, 会出现很大的误差, 甚至出现错误的结果, 因此在统计分析之前必须进行测量数据的预处理<sup>[4]</sup>。

首先剔除明显有误差的值, 同时为了保证数据的完整性和连续性, 对剔除的数据进行重构, 其次为保证测量数据的等间隔性, 对数据进行内插补充。

#### 1.1 野值剔除

如果在有限的观测数据中混有误差较大的野值, 就会影响最终结果的精度, 因此每个测量值都显得特别重要。对有限的观测数据进行合理性检验的要求是: 必须检验每个测量值, 并剔除野值, 以参数拟合法替代被剔除的野值<sup>[6]</sup>。此外, 还要求

收稿日期: 2015-05-08; 修回日期: 2015-06-09

作者简介: 段一萍(1976—), 女, 辽宁人, 工学学士, 工程师, 从事外测数据处理研究。

检验方法适合事后处理。野值判定准则<sup>[7]</sup>：

假设  $Y = (y_1, \dots, y_m)^T$  中有  $n$  个异常数据， $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_N)^T$ ，当  $\zeta_i = \max_{1 \leq i \leq m} \zeta_i > \alpha \|\delta\|^2$  时， $y_i$  为异常数据，应该剔除。这里  $\alpha$  由下式确定。

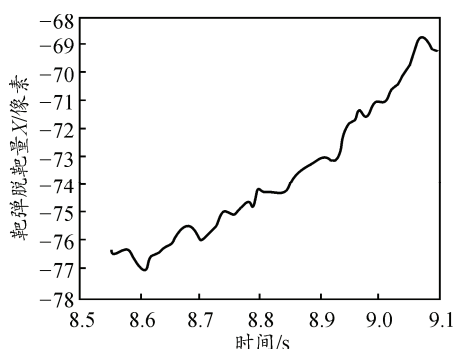
$$mI(m - 2n - p, \alpha) = 0.05,$$

$$I(l, \alpha) = \left( \int_0^{\pi/2} \sin^{l-2} x dx \right)^{-1} \left( \int_0^{\arcsin \sqrt{1-\alpha}} \sin^{l-2} x dx \right). \quad (1)$$

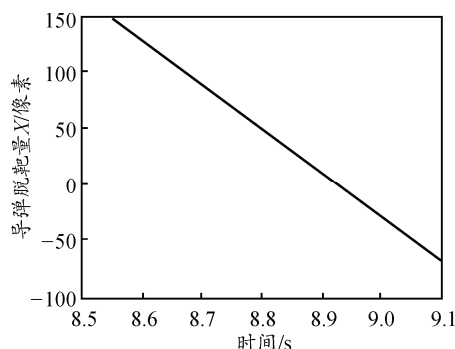
### 1.2 构建时间序列

由于时间序列分析要求测量数据样本不少于 50 个，且时间为等间隔。目前靶场现有的光学经纬仪的采样频率为 40 帧 / s、50 帧 / s、100 帧 / s 等，为了获取精确到毫秒的遭遇段参数，必须对经纬仪角度信息进行加密处理。通常采用最小二乘多项式拟合插值的方法。由于测量所得同帧画幅数较少，导弹与目标相对速度大，在这样短的时间内，不可能产生大的机动。因此拟合曲线以线性为主，个别

情况采用二次曲线拟合。图 1 为某红外经纬仪跟踪弹靶协同段共计 0.55 s 的脱靶量  $X$  变化曲线图，该经纬仪测量图像尺寸为 320 像素 × 256 像素。如图 1 所示，在协同画幅中，靶弹的脱靶量  $X$  变化较小，而导弹几乎贯穿整个视场。由于内同步的影响，导弹的测角精度会受到一定的影响，因此直接利用这样的数据处理遭遇段参数是不正确的。通过对多次测量数据分析发现，在几十毫秒这样短的时间内，脱靶量数据可以用线性或二次多项式进行拟合。假设在相对零时刻，有一组脱靶量测量数据  $X = [X_{-n}, X_{-n+1}, \dots, X_{n-1}, X_n]$ ，对于这组测量数据，可以用式 (1) 的一个二次多项式来进行比较精确的拟合： $X_t = at^2 + bt + c$ ，式中系数  $a, b, c$  可以用最小二乘的方法进行求解，解出多项式的系数，则对  $t \in (X_{-n}, X_n)$  任意时刻都可以得到关于脱靶量  $X_t$  的一个比较理想的估计值，通过多项式拟合数字插值得到测量时刻的脱靶量估计值。



(a) 靶弹脱靶量  $X$  变化曲线



(b) 导弹脱靶量  $X$  变化曲线

图 1 协同段弹靶脱靶量变化曲线

## 2 时间序列数据特性的检验

### 2.1 平稳性检验

利用时间序列建模，需保证所构建的时间序列是平稳的。笔者采用逆序检验法进行检验<sup>[8-10]</sup>。

逆序检验法的基本原理是：若数据序列  $\{y_t\}$  平稳，则其分段子序列的均值或方差应无显著差异。由此，得到数据序列均值平稳性检验的步骤如下：

步骤 1：将  $y_t : 1 \leq t \leq n$  分成  $k$  段，并相应计算各段均值，得到均值序列；

步骤 2：计算逆序总数  $A$  及统计量

$$u = (A + 1/2 - k(k-1)/4) / \sqrt{k(2k^2 + 3k - 5)/72};$$

步骤 3：由给定置信水平，查标准正态分布得  $z_{\alpha/2} = 1.96$ ；

步骤 4：若  $|u| \leq z_{\alpha/2}$ ，则以置信度  $1-A$  认为该数据序列具有平稳性，否则认为是不平稳的。

### 2.2 正态性检验

对时序数据  $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  的正态性检验，一般采用偏峰态检验法<sup>[11]</sup>。

对测量数据  $\{y_t : 1 \leq t \leq n\}$ ，均值： $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t$ ，

方差： $s^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2$ 。

标准偏度系数： $g_1 = \sqrt{\frac{1}{6n} \sum_{t=1}^n \left(\frac{y_t - \bar{y}}{s}\right)^3}$ ，标准峰度

系数： $g_2 = \sqrt{\frac{n}{24} \left[ \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left(\frac{y_t - \bar{y}}{s}\right)^4 - 3 \right]}$ 。

以上为表示其总体概率密度函数的 4 个参数。其中  $g_1$  反映了数据序列的总体概率密度关于均值的不对称性, 而  $g_2$  则反映了总体概率密度函数与标准正态密度在峰度上的差异<sup>[11]</sup>。

在实际工程应用时, 正态性检验的步骤如下:

步骤 1: 给定置信水平  $\alpha = 0.05$ , 查标准正态分布表得  $Z_{\alpha/4} = 2.24$ ;

步骤 2: 计算出均值、方差、标准偏度系数和标准峰度系数;

步骤 3: 若  $|g_1| \leq Z_{\alpha/4}$ , 且  $|g_2| \leq Z_{\alpha/4}$ , 则以置信度  $1-\alpha$  认为  $\{y_i: 1 \leq t \leq n\}$  是正态的。

### 3 仿真试验结果及分析

#### 3.1 生成仿真数据

通过对在导弹和目标理论速度上加入小的随机误差并积分得到 2 条仿真航迹, 根据实际应用背景共产生 2 台光测设备的测量数据, 交会角度在  $40^\circ$  左右。仿真测量数据的误差由 2 部分构成, 包括判读误差和系统误差<sup>[12]</sup>。判读误差用高斯白噪声仿真, 在产生仿真数据时, 使弹靶同帧画幅测量数据具有相同的复杂系统误差。

#### 3.2 数据预处理

对 2 台光电经纬仪仿真测量数据进行预处理, 按照 1.1 提供的野值剔除方法剔除大的野值点。

#### 3.3 用最小二乘拟合构建时间序列

为保证样本个数, 对协同段导弹和目标的测量数据分别利用最小二乘多项式拟合方法进行加密处理。图 2~图 5 分别为测站 1 和测站 2 导弹、目标方位角和俯仰角拟合前后关系图, 其中“\*”为测量值, “+”为拟合值。

#### 3.4 平稳性、正态性检验

对 2 台经纬仪经过预处理之后的数据进行平稳

性、正态性检验, 结果如下。

1) 平稳性检验结果。

① 设备 1 导弹: 方位角  $A: |u| = 0.465 \leq Z_{\alpha/2}$ , 平稳; 俯仰角  $E: |u| = 0.056 \leq Z_{\alpha/2}$ , 平稳;

设备 1 目标: 方位角  $A: |u| = 0.894 \leq Z_{\alpha/2}$ , 平稳; 俯仰角  $E: |u| = 0.152 \leq Z_{\alpha/2}$ , 平稳;

② 设备 2 导弹: 方位角  $A: |u| = 0.587 \leq Z_{\alpha/2}$ , 平稳; 俯仰角  $E: |u| = 0.125 \leq Z_{\alpha/2}$ , 平稳;

设备 2 目标: 方位角  $A: |u| = 0.960 \leq Z_{\alpha/2}$ , 平稳; 俯仰角  $E: |u| = 1.020 \leq Z_{\alpha/2}$ , 平稳。

2) 正态性检验结果。

① 设备 1 导弹: 方位角  $A: |g_1| = 0.025 \leq Z_{\alpha/4}$ ,  $|g_2| = 1.778 \leq Z_{\alpha/4}$ , 正态;

俯仰角  $E: |g_1| = 0.443 \leq Z_{\alpha/4}$ ,  $|g_2| = 2.162 \leq Z_{\alpha/4}$ , 正态;

② 设备 1 目标: 方位角  $A: |g_1| = 0.266 \leq Z_{\alpha/4}$ ,  $|g_2| = 0.810 \leq Z_{\alpha/4}$ , 正态;

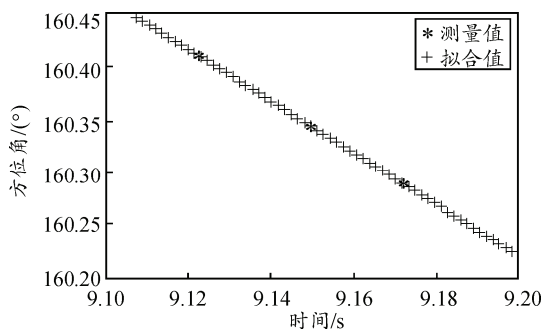
俯仰角  $E: |g_1| = 1.840 \leq Z_{\alpha/4}$ ,  $|g_2| = 1.201 \leq Z_{alpha/4}$ , 正态;

③ 设备 2 导弹: 方位角  $A: |g_1| = 0.008 \leq Z_{\alpha/4}$ ,  $|g_2| = 1.760 \leq Z_{\alpha/4}$ , 正态;

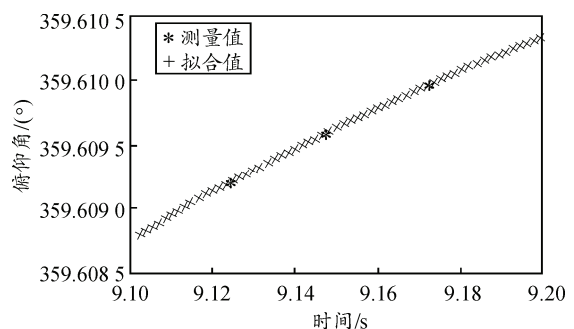
俯仰角  $E: |g_1| = 0.126 \leq Z_{\alpha/4}$ ,  $|g_2| = 0.778 \leq Z_{\alpha/4}$ , 正态;

④ 设备 2 目标: 方位角  $A: |g_1| = 0.314 \leq Z_{\alpha/4}$ ,  $|g_2| = 2.040 \leq Z_{\alpha/4}$ , 正态;

俯仰角  $E: |g_1| = 0.539 \leq Z_{\alpha/4}$ ,  $|g_2| = 1.494 \leq Z_{\alpha/4}$ , 正态。

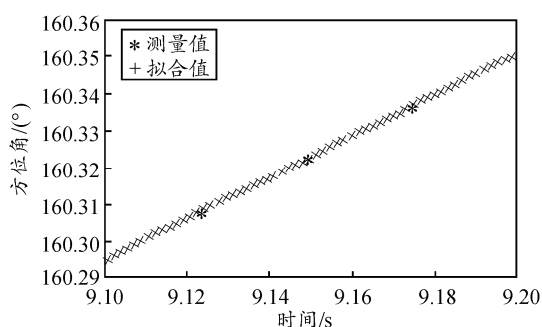


(a) 测站 1 导弹方位角拟合前后曲线

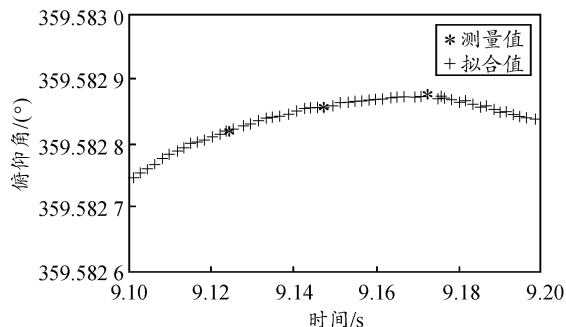


(b) 测站 1 导弹俯仰角拟合前后曲线

图 2 测站 1 导弹方位角和俯仰角拟合前后关系

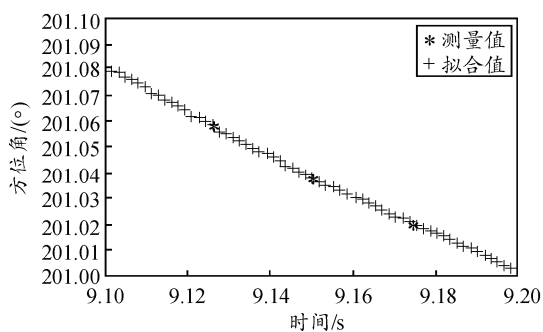


(a) 测站 1 目标方位角拟合前后曲线

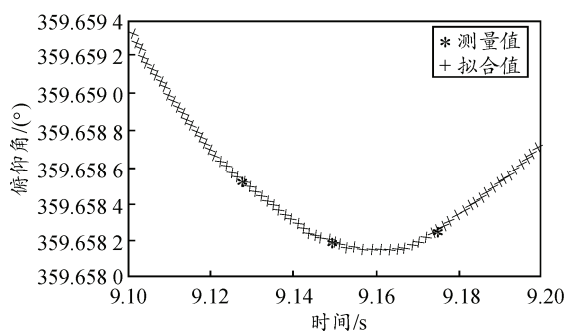


(b) 测站 1 目标俯仰角拟合前后曲线

图 3 测站 1 目标方位角和俯仰角拟合前后关系

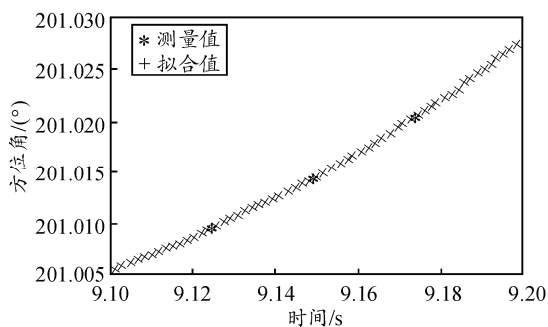


(a) 测站 2 导弹方位角拟合前后曲线

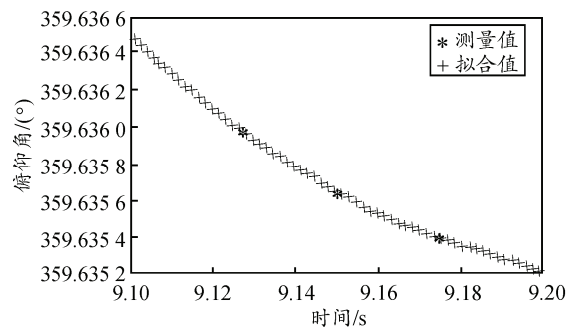


(b) 测站 2 导弹俯仰角拟合前后曲线

图 4 测站 2 导弹方位角和俯仰角拟合前后关系



(a) 测站 2 目标方位角拟合前后曲线



(b) 测站 2 目标俯仰角拟合前后曲线

图 5 测站 2 目标方位角和俯仰角拟合前后关系

### 3.5 试验结果

直接利用同帧画幅的数据得到的最近时间和最近距离分别为  $T_{最近}=9.15\text{ s}$ ,  $R_{最近}=2.62\text{ m}$ , 采用上述方法得到的  $T_{最近}=9.149\ 7\text{ s}$ ,  $R_{最近}=1.46\text{ m}$ , 理论值为  $R_{最近}=1\text{ m}$ , 其误差小于  $0.5\text{ m}$ 。

## 4 结束语

遭遇段参数作为检验导弹性能的一个重要指标,对鉴定和评估精确制导武器的性能起关键作用。目前大多采用 2 台光电经纬仪具有 3 张以上同帧画幅进行双站交会的方法,由于经纬仪在捕获目标时,导弹或目标在视场中会相对移动,由于内同步和镜头畸变等因素,从而影响测量精度。为了获得更高

精度的遭遇段参数,笔者将小样本时间序列数据处理方法应用到遭遇段处理中,经过处理后,使得计算最近距离等重要遭遇段参数误差小于  $0.5\text{ m}$ 。仿真结果证明了其精度满足试验要求。

### 参考文献:

- [1] 曲宝忠,于海涛. 海军战术导弹武器系统试验设计[J]. 战术导弹技术, 2001, 2(6): 32-40.
- [2] 李兴民,周敬国. 导弹脱靶量测量方法研究[J]. 战术导弹技术, 2004, 3(2): 22-25.
- [3] 王宗友,付承毓,王芳. 基于数据配准提高光电经纬仪的测量精度[J]. 中国光学与应用光学, 2010, 3(6): 586-589.
- [4] 任劲涛,朱家海,邵玉梅. 小样本时间序列的数据处理[J]. 空军工程大学学报, 2005, 6(3): 71-74.

[5] 叶剑锋, 周欣明. 目标视场位置对经纬仪测角精度的影响[J]. 火箭与制导学报, 2012, 32(5): 190-192.

[6] 张锦斌. 火炮测速雷达数据合理性检验方法[J]. 无线电通信技术, 1992, 28(2): 83-93.

[7] 童丽, 周海银. 异常点剔除及其并行实现[J]. 数值计算与计算机应用, 2000, 21(3): 171-177.

[8] 袁小江, 陈亮, 吴云, 等. 一种基于灰色理论的目标飞行器跟踪趋势预测模型[J]. 兵工自动化, 2014, 33(6): 32-35.

[9] 欧爱辉. 一种基于多信号流图的雷达系统测试性建模分析方法[J]. 兵工自动化, 2014, 33(4): 56-60.

[10] 黄义, 汪德虎, 王建明, 等. 舰载跟踪雷达测量弹道修正坐标转换模型[J]. 兵工自动化, 2012, 31(8): 3-5.

[11] 李晓勇, 张忠华, 朱伟康, 等. 舰载外测设备动态测量数据的误差分离[J]. 飞行器测控学报, 2009, 28(2): 71-77.

[12] 涂先勤, 胡长城, 易东云, 等. 利用差分光学观测量的脱靶量处理方法[J]. 弹道学报, 2011, 23(3): 84-88.

\*\*\*\*\*

(上接第 82 页)

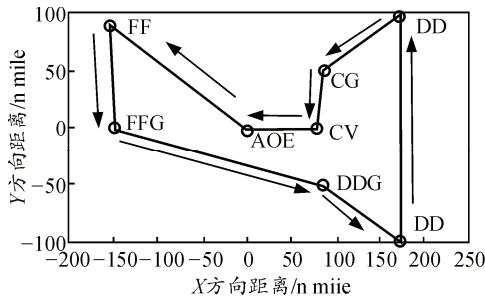


图 4 补给路径规划

若规定补给总时间为 80 h, 则经仿真计算得补给的最小补给时间为 59.541 2 h (DD(a)未得到补给), 最大的作战效能为 33.1, 补给次序为 5-3-1-2-7-6, 补给路径规划如图 5 所示。

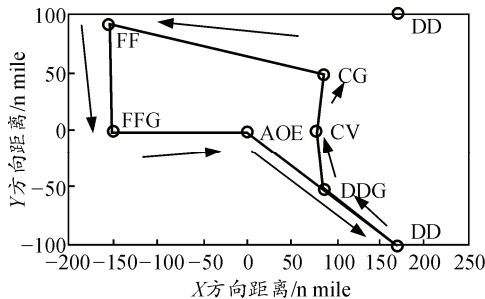


图 5 有时间限制的补给路径规划

仿真结果表明: 利用文中的多目标离散粒子群算法对航母编队的油料伴随补给规划问题进行求解, 符合海上补给的特点和实际需要, 而利用该算法其优点主要体现在搜索速度快、效率高, 算法简便, 适用于实值型处理。

### 5 结论

笔者根据航母编队作战背景下进行油料伴随补给的特点, 结合 TSP 问题的思路方法, 提出了 3 种

补给策略, 以最小化补给时间和最大化作战效能为目标函数, 分别建立了规划模型, 通过 Matlab 软件, 利用改进的多目标离散粒子群算法对问题进行求解。仿真实验验证了该方法的合理性和有效性, 可以获得更小的补给时间和更大的编队作战效能, 较好地实现了航母编队油料伴随补给规划问题的优化。建模的过程中, 由于没有考虑到海况条件以及对战场等级进行划分, 笔者将在以后的研究中对模型进行进一步细化。

### 参考文献:

[1] 穆鑫, 郭继坤, 刘训标. 海军境外军事行动油料保障特点研究[J]. 中国储运, 2013(10): 186-187.

[2] 余鹏, 何学军. 基于蚁群算法的舰艇编队海上补给路径规划方法[J]. 海军工程大学学报, 2014, 26(2): 108-112.

[3] Cadillo J. Optimizing global operations plans for the combat to force[D]. Monterey; Naval Postgraduate School, 2004: 22-28.

[4] Wu Tl. Optimization Models for Underway Replenishment of a Dispersed Carrier Battle Group[D]. California: Naval Postgraduate School, 1992: 6-8.

[5] De Grange W C. Optimizing global combat logistics force support for sea base operations[D]. Monterey: Naval Postgraduate School, 2006: 45-50.

[6] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization[C]. In: Proc. IEEE Int'l. Conf. Neural Networks. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995: 1942-1948.

[7] 孙小强, 张求明. 一种基于粒子群优化的多目标优化算法[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(18): 40-42.

[8] Li Xiaodong. Better spread and convergence: particle swam multi objective optimization using the maximin fitness function[C]//LNCS 3102: Porc of GECCO 2004. School of Computer Science and Information Technology RMIT University, VIC 3001, Melbourne, Australia, 2004: 128-177.