

# 对海移动目标轰炸的改进方法

汤志荔, 谷晓星, 张安, 张凯翔  
(西北工业大学电子信息学院, 西安 710129)

**摘要:** 海上目标一般为大型舰船或作业平台, 体积大、速度慢, 因此无制导航空炸弹是一种性价比较高的攻击方式。以往对连续计算投放点(CCRP)的研究大多是针对固定目标的轰炸, 对于移动目标没有专门的研究, 但实际情况中有些目标并不是静止不动的。为此提出一种改进的 CCRP 轰炸瞄准方法, 经仿真验证可以有效达到打击海上移动目标的目的。

**关键词:** 连续计算投放点; 无制导航空炸弹; 海上移动目标

**中图分类号:** V271.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-637X(2017)04-0012-03

## An Improved Method for Bombing Moving Sea Targets

TANG Zhi-li, GU Xiao-xing, ZHANG An, ZHANG Kai-xiang  
(College of Electronic Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

**Abstract:** Sea targets are usually large-sized ships or work platforms with large volume and low speed, thus the non-guided aviation bomb is a weapon with high performance cost ratio for attacking them. Previous studies on Continuously Computed Release Point(CCRP) are mostly focused on fixed target bombing. There is very few research on moving target attacking. This paper proposes an improved CCRP method for target bombing. Simulation result shows that this method can effectively achieve the goal of bombing slowly moving sea targets.

**Key words:** CCRP; non-guided aviation bomb; moving sea target

### 0 引言

连续计算投放点(Continuously Computed Release Point, CCRP)瞄准原理, 是在飞机接近目标过程中连续计算对目标的投放位置, 在计算机里将此位置与飞机相对于目标的现实位置自动进行比较, 当飞机的现实位置与连续计算出的投放位置一致时, 系统自动投放<sup>[1]</sup>。以往采用的 CCRP 瞄准原理, 针对的是固定目标的轰炸, 不能有效打击移动目标。在某些情况下, 目标是移动的, 传统的 CCRP 轰炸瞄准方法不能很好地完成任务<sup>[2]</sup>。为此, 本文提出一种改进的 CCRP 轰炸瞄准方法, 其中心思想是解算载机角度偏差与距离偏差。

### 1 CCRP 轰炸瞄准方法

CCRP 的基本解算过程<sup>[3]</sup>如下。

1) 解算理论投放轨迹, 算出无风时航弹的水平射程  $A_0$  和下落时间  $t_0$ 。

航弹下落过程中质心运动微分方程组<sup>[4]</sup>为

$$\begin{cases} \frac{dV_x}{dt} = -0.1824 \times 10^{-3} C \frac{h}{\tau} V_x^2 \sqrt{1+P^2} \\ \frac{dP}{dt} = g/V_x \\ \frac{dx}{dt} = V_x \\ \frac{dy}{dt} = V_x P \\ V = V_x \sqrt{1+P^2} \\ h = 760 [1 - 2.0326 \times 10^{-5} (H-y)]^{5.828} \\ \tau = 288.4 - 5.862 \times 10^{-3} (H-y) \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $V_x$  为航弹水平速度;  $t$  表示航弹下落时间;  $C$  为航弹弹道系数;  $h$  为空气压力汞高;  $\tau$  为虚温;  $P$  为航弹俯冲角正切值;  $g$  为重力加速度;  $x$  为航弹水平移动距离;  $y$  为航弹下落高度;  $V$  为航弹飞行速度;  $H$  为载机投放航弹高度。初始条件为

$$\begin{cases} t = 0 \\ V_x = V \\ P = 0 \\ x = 0 \\ y = 0 \end{cases} \quad (2)$$

终结计算条件为  $y = H$ 。

通过龙格库塔方法解出该微分方程组, 可以得到无风时航弹水平射程  $A_0$  和下落时间  $t_0$ 。

2) 按照一定方法求解出载机所需修正的角度偏差  $\Delta k$  与距离偏差  $\Delta d$ 。角度偏差定义为载机机头需要转动的角度,右偏为正;距离偏差定义为载机距离投弹点的距离。

3) 载机连续测量目标位置同时不断修正角度偏差与距离偏差,直至修正完成,从而投放航弹,完成轰炸。

其解算步骤如图1所示。

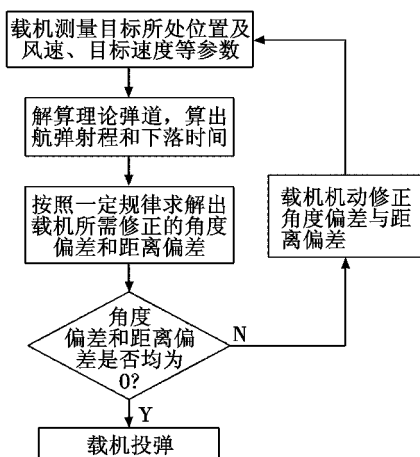


图1 CCRP轰炸基本流程  
Fig.1 Basic process of CCRP

## 2 角度偏差与距离偏差的解算

传统的 CCRP 方法中,求解载机所需修正的角度偏差与距离偏差时不考虑目标移动的影响。为了能够对移动目标进行有效打击,距离偏差与角度偏差的求解方法必须进行改进。

以载机地速方向为纵轴,载机当前位置为原点建立地速坐标系,其轰炸模型如图2所示。

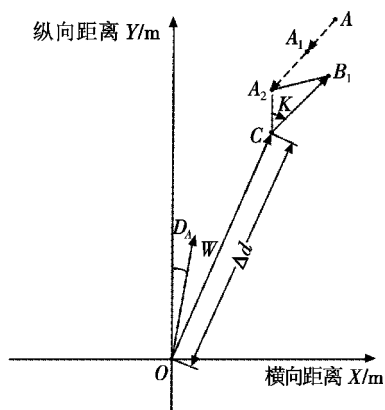


图2 有风且目标移动轰炸矢量图  
Fig.2 Vector diagram of moving target bombing under windy condition

在地速坐标系中:原点为飞机当前位置; $A$  为目标当前位置; $OW$  表示载机机头当前对准方向;则  $D_A$  为载机当前偏流角(右偏为正),  $D_A = \arcsin(\frac{v_{sf}}{V})$ 。

其运动情况<sup>[5]</sup>如下所述。

设载机需要修正的角度偏差为  $\Delta k$ , 距离偏差为  $\Delta d$ 。载机按照所需修正的角度偏差  $\Delta k$  与距离偏差  $\Delta d$  完成修正后到达投弹点  $C$ , 此时载机机头对准方向变为  $\overrightarrow{CB_1}$ , 载机机头对准方向与初始载机地速方向的夹角为  $K$ , 目标运动到  $A_1$ 。载机投弹后,  $B$  为无风时航弹命中点, 由于风的影响最终命中点为  $A_2$ , 若目标此时刚好到达  $A_2$ , 则成功命中目标。因此求出  $\Delta k$  和  $\Delta d$  是能否成功完成轰炸任务的关键。

已知在此地速坐标系中, 无风时航弹水平射程为  $A_0$ ; 下落时间为  $t$ ; 载机空速为  $V$ ; 目标速度向量为  $(v_{mx}, v_{my})$ ; 风速速度向量为  $(v_{xf}, v_{yf})$ ; 目标初始位置  $A$  坐标为  $(A_{xw}, A_{yw})$ 。

设投弹时, 目标所在位置  $A_1$  坐标为  $(A_{xw1}, A_{yw1})$ ; 轰炸完成时目标所在位置  $A_2$  坐标为  $(A_{xw2}, A_{yw2})$ ; 载机从初始位置  $O$  点移动到物资投放点  $C$  点所需时间为  $T$ 。由此可得

$$\begin{cases} A_{xw2} = A_{xw} + v_{mx}t + v_{mx}T \\ A_{yw2} = A_{yw} + v_{my}t + v_{my}T \end{cases} \quad (3)$$

设所需修正角度偏差为  $\Delta k$ , 则

$$\Delta k = K - \arcsin(\frac{v_{sf}}{V}) \quad (4)$$

设所需修正的距离偏差为  $\Delta d$ , 则

$$\Delta d = V \cdot T \quad (5)$$

即

$$T = \frac{\Delta d}{V} \quad (6)$$

又因为

$$\begin{cases} K = \arcsin\left(\frac{A_{yw2} - (t+T) \times v_{yf}}{\sqrt{[A_{xw2} - (t+T) \times v_{xf}]^2 + [A_{yw2} - (t+T) \times v_{yf}]^2}}\right) \\ \Delta d = \sqrt{[A_{xw2} - (t+T) \times v_{xf}]^2 + [A_{yw2} - (t+T) \times v_{yf}]^2} - A_0 \end{cases} \quad (7)$$

将式(3)、式(6)代入式(7), 最终  $\Delta k$  和  $\Delta d$  可以通过以下方程组求得

$$\begin{cases} \Delta d = \left\{ [A_{xw} + (v_{mx} - v_{xf}) \times t + \frac{\Delta d}{V}(v_{mx} - v_{xf})]^2 + [A_{yw} + (v_{my} - v_{yf}) \times t + \frac{\Delta d}{V}(v_{my} - v_{yf})]^2 \right\}^{1/2} - A_0 \\ \Delta k = \arcsin\left\{ \frac{[A_{xw} + (v_{mx} - v_{xf}) \times t + \frac{\Delta d}{V}(v_{mx} - v_{xf})]}{\left\{ [A_{xw} + (v_{mx} - v_{xf}) \times t + \frac{\Delta d}{V}(v_{mx} - v_{xf})]^2 + [A_{yw} + (v_{my} - v_{yf}) \times t + \frac{\Delta d}{V}(v_{my} - v_{yf})]^2 \right\}^{1/2}} \right\} - \arcsin\left(\frac{v_{sf}}{V}\right) \end{cases} \quad (8)$$

在式(8)方程组中, 所需求解的变量是  $\Delta k$  与  $\Delta d$ , 其他变量均可以由载机测得或经过计算得到。利用迭代法求解, 可求得载机所需修正的角度偏差  $\Delta k$  与距离偏差  $\Delta d$ 。

### 3 仿真验证

为了验证此解算步骤的有效性,进行如下仿真。目标位置和速度等信息可以用多普勒雷达测得,载机状态信息可以通过相关传感器等得到<sup>[6]</sup>。这里假设目标信息和载机状态已知。

现设置相关参数:取轰炸方式为水平轰炸,载机速度 $V=200\text{ m/s}$ ,投弹高度 $H=2000\text{ m}$ ,炸弹弹道系数 $C=0.4$ ,重力加速度 $g=9.807\text{ m/s}^2$ ,目标初始位置坐标 $(A_{xw}, A_{yw})$ 为 $(6000\text{ m}, 6000\text{ m})$ ,目标速度向量 $(v_{mx}, v_{my})$ 为 $(10\text{ m/s}, -10\text{ m/s})$ ,风速度向量 $(v_{xf}, v_{yf})$ 为 $(6\text{ m/s}, 6\text{ m/s})$ 。

在地速坐标系中,以载机初始时刻为坐标原点,初始地速方向为 $y$ 轴,其轰炸过程如图3所示。红色三角代表载机,绿圆代表目标,黄十字代表航弹,红色线代表载机运动轨迹,绿色线代表目标运动轨迹,黄色线代表航弹运动轨迹。经计算,航弹水平射程 $A_0$ 为 $3\,435.3\text{ m}$ ,下落时间 $t$ 为 $19.57\text{ s}$ ,载机所需修正角度偏差 $\Delta k$ 为 $0.8903\text{ rad}$ ,载机所需修正距离偏差 $\Delta d$ 为 $4\,707.1\text{ m}$ 。

在图3中,载机初始坐标为原点,目标初始坐标为 $(6000\text{ m}, 6000\text{ m})$ 。载机完成距离偏差与角度偏差修正后,到达投弹点 $C$ 即 $(3703\text{ m}, 3206\text{ m})$ ,此时目标运动到 $A_1$ 即 $(6235\text{ m}, 5765\text{ m})$ ;载机投放航弹后,经过航弹下落时间 $19.57\text{ s}$ 后,航弹最终击中 $A_2$ ,坐标为 $(6424\text{ m}, 5564\text{ m})$ ,此时目标刚好移动到 $A_2$ 点,即航弹命中目标。

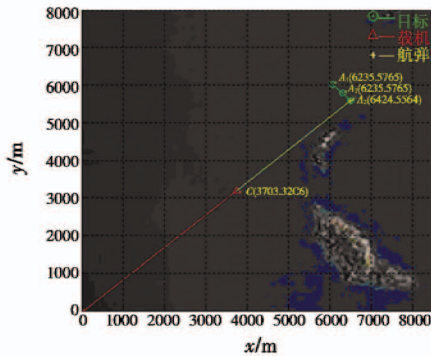


图3 目标速度恒定情况下轰炸过程

Fig. 3 Bombing process to constant-speed target

受载机机动性的限制,载机不可能立刻完成角度修正。为了进一步说明该方法的有效性,现设置参数:载机速度 $V$ 为 $200\text{ m/s}$ ,投弹高度 $H$ 为 $2000\text{ m}$ ,炸弹弹道系数 $C$ 为 $0.4$ ,重力加速度 $g$ 为 $9.807\text{ m/s}^2$ ,目标初始位置坐标 $(A_{xw}, A_{yw})$ 为 $(6000\text{ m}, 6000\text{ m})$ ,目标速度 $20\text{ m/s}$ ,在载机投弹之前运动方向不定,载机投弹后,目标做匀速直线运动。风速度向量 $(v_{xf}, v_{yf})$ 为 $(6\text{ m/s}, 6\text{ m/s})$ 。载机每秒所能修正最大角度偏差为 $0.2\text{ rad}$ ,每 $0.1\text{ s}$ 对目标进行一次重新定位,刷新数据。

在地速坐标系中,仍以载机初始时刻为坐标原点,初始地速方向为 $y$ 轴,其轰炸过程如图4所示。

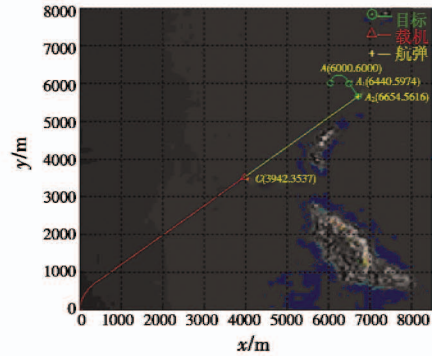


图4 目标速度不定情况下轰炸过程

Fig. 4 Bombing process to nonconstant-speed target

在图4中,载机初始坐标为原点,目标初始坐标 $A$ 为 $(6000\text{ m}, 6000\text{ m})$ 。载机完成距离偏差与角度偏差修正后,到达投弹点 $C$ ,即 $(3942\text{ m}, 3537\text{ m})$ ,此时目标运动到 $A_1$ 点坐标为 $(6440\text{ m}, 5974\text{ m})$ ;载机投放航弹后,经过航弹下落时间 $19.57\text{ s}$ 后,航弹最终击中 $A_2$ 点,坐标为 $(6654\text{ m}, 5646\text{ m})$ ,此时目标刚好移动到 $A_2$ 点,即航弹命中目标。

### 4 结论

对于海上大型目标,鉴于其体积大、速度慢的特点,短时间内可以看作匀速直线运动,因此航空炸弹是一种十分合适的攻击武器。本文提出的方法,既解决了目标移动所产生的影响,也兼顾了风的影响,建立了对海移动目标轰炸的物理模型并推导出了其数学模型,该模型较为简单,方程组解算也十分容易。本文提出的解算方法可以适用于多种情况,对于固定目标、移动目标、有风、无风情况均可通过这种方法解算,有很好的适应能力。同时解算方法简单,机载计算机可以快速求出结果,精度较高。通过仿真验证,证明其能有效达到作战目的,说明了该方法的正确性和有效性。

### 参考文献

- [1] 郭治. 现代火控理论[M]. 北京:国防工业出版社,1996.
- [2] 李晓曦,周德云,何鹏. 一种UCAV对地面活动目标的攻击方法研究[J]. 电光与控制,2011,18(11):67-70.
- [3] 付海峰,周志刚,于雷,等. 一种改进的CCRP轰炸瞄准原理[J]. 电光与控制,2002,9(4):24-26.
- [4] 张安,周志刚. 航空综合火力控制原理[M]. 西安:西北工业大学出版社,1997.
- [5] 陈磊,寇英信,李战武,等. 新型CCAR与CCRP融合式轰炸瞄准原理建模与分析[J]. 电光与控制,2013,20(8):58-62.
- [6] 李克己,聂志强. 对地面活动目标轰炸方法的研究与仿真[J]. 电光与控制,2002,9(3):23-29.