

# 机载机构动力学模型及运动计算

李 甦

(空军第二航空技术专科学校五系, 长春, 130022)

## A DYNAMIC MODEL OF MECHANISM AND CALCULATION IN PLANE MOTION

Li Su

(Fifth Department of The Second Air Force Academy of Technology, Changchun, 130022)

**摘 要** 对飞机机动飞行时机机构运动的影响进行简化处理, 将机构工作时飞机加速度引起的惯性力附加在运动构件上, 作为已知外力, 只建立机构动力学模型, 而飞机的动力学模型不计, 从而省略了许多自由度, 使问题简化。

**关键词** 基本构件, 附加惯性力, 机动飞行, 速度

**Abstract** In this paper, a dynamic model of mechanism which can describe flexible flight is derived, based on the analysis of various mechanisms of automatic weapon. The velocity errors of basis component of weapon can be obtained with the aid of this model and a computer.

**Key words** Basic component, Added force of inertia, flexible flight, Velocity.

飞机的各种传动机构以及航炮的自动机构在空中的使用条件比地面有很大不同, 主要是由于飞机机动飞行所产生的惯性力对机构运动带来很大的影响。如航炮故障率, 空中比地面高数倍。随着飞机速度和机动性能的不不断提高, 对机上各机构的影响越来越大。因此机构设计时必须考虑飞机在最大过载条件下的影响。在建立机构动力学模型时要计算机动飞行引起的附加惯性力。本文对飞机机动飞行对机构运动的影响作简化处理。即将机构工作时飞机加速度引起的惯性力附加在运动构件上, 作为已知外力, 只建立机构动力学模型即可; 而不计飞机的动力学模型, 省略了许多自由度, 从而使问题简化。根据机载武器的实际情况, 决定其它构件运动的构件为基本构件。安装机构的装架为体部。基本构件相对体部的运动是一个自由度<sup>[1]</sup>, 体部相对飞机的运动也是一个自由度<sup>[2]</sup>。这样机载机构的动力学模型, 考虑飞机机动飞行时, 就可以在二自由度的基础上加以开拓而得到。

## 1 机构动力学模型的建立

### 1.1 基本构件的动力学模型

设 $e_1, oe_2$ 为飞机坐标系。其中 $G_i, G'_i, G'_j, G_j$ 是由于飞机运动而产生在航炮各构件上的附加惯性力。如图1所示。

在考虑飞机机动而产生的附加惯性力后, 应用拉格朗日方程得出基本构件的动力学模型<sup>[1, 2]</sup>

$$m_{11} \ddot{x} + m_{12} \ddot{z} = FF_A \quad (1)$$

1990年4月18日收到, 1990年8月20日收到修改稿

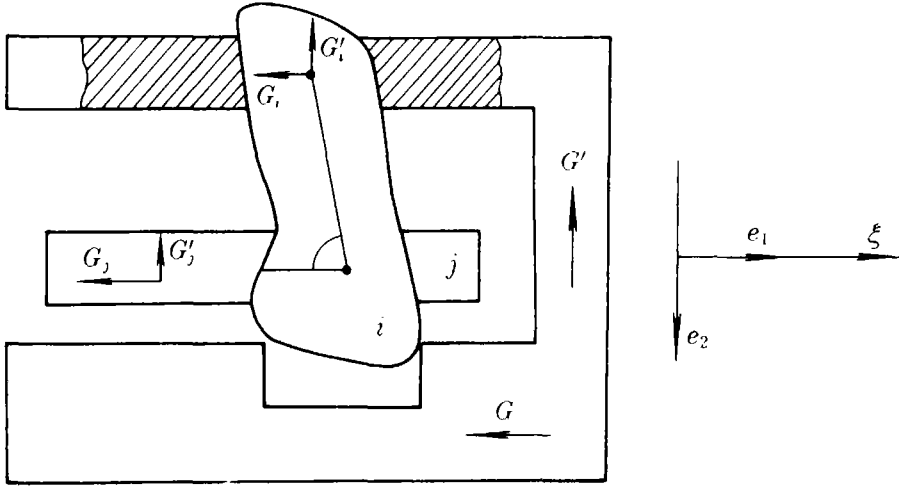


图1 航炮构件附加惯性力示意图

$$FF_A = FF_1 - \left( m + \sum_{v=1}^{n_1} m_v \frac{i_v}{\eta_v} D_v + \sum_{v=n_1+1}^{n_2} m_v \frac{i_v}{\eta_v} l_{vY} + \sum_{v=n_2+1}^{n_3} m_v C_v \right) \dot{e}_1 + \left( \sum_{v=1}^{n_1} m_v \frac{i_v}{\eta_v} E_v + \sum_{v=n_1+1}^{n_2} m_v \frac{i_v}{\eta_v} l_{vX} + \sum_{v=n_2+1}^{n_3} H_v m_v - fm \right) \dot{e}_2 \tag{2}$$

$$H_v = \frac{i_v}{\eta_v} l_{vX} + f \frac{i_v}{\eta_v} \tag{3}$$

$$E_v = \sin \varphi_v - f \cos \varphi_v \tag{4}$$

1.2 体部的动力学模型

在考虑飞机机动飞行对体部工作的影响后，即附加惯性力 \$G\$、\$G'\$。应用拉格朗日方程得出体部的动力学模型

$$m_{21} \ddot{x} + m_{22} \ddot{z} = FF_B \tag{5}$$

$$FF_B = FF_2 - (M + m + \sum_{v=1}^{n_1} m_v) (\dot{e}_1 - f \dot{e}_2) \tag{6}$$

1.3 机构动力学模型

飞机机动飞行的加速度 \$\dot{e}\_1\$、\$\dot{e}\_2\$ 可被认为是已知参数。根据飞机实弹射击时的状态选择。二自由度动力学模型可从式 (1)，式 (5) 得出

$$\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} FF_1 \\ FF_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K1 & K2 \\ K3 & K4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$K1 = m + \sum_{v=1}^{n_1} m_v \frac{i_v}{\eta_v} D_v + \sum_{v=n_1+1}^{n_2} m_v \frac{i_v}{\eta_v} l_{vY} + \sum_{v=n_2+1}^{n_3} m_v C_v \tag{8}$$

$$K2 = - \left( \sum_{v=1}^{n_1} m_v \frac{i_v}{\eta_v} E_v + \sum_{v=1}^{n_2} m_v \frac{i_v}{\eta_v} l_{vX} + \sum_{v=n_2+1}^{n_3} H_v m_v - fm \right) \tag{9}$$

$$K3 = M + m + \sum_{v=1}^{n_1} m_v \tag{10}$$

$$K4 = -(M + m + \sum_{v=1}^{n_3} m_v) f \quad (11)$$

## 2 计算实例

根据航炮机构动力学模型式 (7)。对某型航空机关炮在计算机上数学模拟计算<sup>[3, 4]</sup>。其中飞机的加速度参数  $\ddot{e}_1$ 、 $\ddot{e}_2$  的选取是根据飞机的攻击状态决定的。取  $\ddot{e}_1 = 4\text{m/s}^2$ ,  $\ddot{e}_2 = 7\text{g}$ 。

(1) 航炮基本构件的后退速度 (相对飞行方向)

当  $\ddot{e}_1 = 0$ ,  $\ddot{e}_2 = 0$  时,  $V_H = 4.4\text{m/s}$

当  $\ddot{e}_1 = 4\text{m/s}^2$ , 当  $\ddot{e}_2 = 7\text{g}$  时,  $V_H = 4.9\text{m/s}$

其中  $V_H$  为基本构件到最后位的速度。

(2) 航炮基本构件的前冲速度 (相对飞行方向)

当  $\ddot{e}_1 = 0$ ,  $\ddot{e}_2 = 0$  时,  $V_p = 2.9\text{m/s}$

当  $\ddot{e}_1 = 4\text{m/s}^2$ ,  $\ddot{e}_2 = 7\text{g}$  时,  $V_p = 2.2\text{m/s}$

从计算可知, 航炮在空中使用和地面使用时其基本构件运动速度发生了改变, 变化范围在 10%~15% 之间。基本构件在带动其它从动构件后退时, 由于飞机攻击时附加惯性力的影响, 其速度增加了 10%~15%。基本构件在带动其它从动构件前冲时, 其速度减少了 10%~15%。

由于基本构件的速度发生了变化, 从动构件的速度随之改变, 从而给航炮各机构之间协调配合和原设计带来不利影响。如进弹和抽壳, 在飞机机动飞行时弹带阻力增加了 800N 左右, 给进弹带来困难。由于抽壳时机提前, 抽壳力也相应增加, 容易产生断壳故障。

本文所做工作有助于定性、定量分析飞机机动飞行对航炮各个机构工作所产生的影响。

本文曾得到空军工程学院史家科副教授的指导, 在此深表谢意。

## 参 考 文 献

- 1 普加契夫 B C. 自动武器动力学原理. 北京: 国防工业出版社, 1960
- 2 王梦林. 炮箱浮动时具有平面运动构件的火炮自动机运动方程组. 华东工程学院学报, 1983; (3)
- 3 戴成勋, 雷重森. 用电子计算机对自动武器进行数学模拟的一种方法. 兵工学报, 武器分册, 1982; (3)
- 4 Kane M R. A Mathematical Mode of the 30 mm Advanced Medium Caliber Weapon System, 1977