

纵向通道的运动方程组为(在计算时，应注意单位的统一，尤其是角度与弧度的转化、牛顿与千克力力的转化，特别注意关于角度的一些系数都是以度为单位给出的，运算时应按照国际标准单位进行)：

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{V} = \frac{P \cos \alpha - X}{m} - g \sin \theta \\ \dot{\theta} = \frac{1}{mV} (P \sin \alpha + Y - G \cos \theta) \\ J_z \dot{\omega}_z = M_z \\ \dot{\vartheta} = \omega_z \\ \dot{x} = V \cos \theta \\ \dot{y} = V \sin \theta \\ \dot{m} = -m_c \\ \alpha = \vartheta - \theta \\ \delta_z = f(\cdot) \end{array} \right.$$

其中：

推力  $P$  为 5884N(600kg)。

阻力  $X = C_x q S$ ，这里  $C_x$  为阻力系数，它是攻角  $\alpha$  (注意是角度，下同)的函数，如下表所示(对于中间的攻角  $\alpha$  值，进行插值运算)：

$\alpha(^{\circ})$	$C_x$
-2	0.02181
0	0.01961
2	0.02181
4	0.02903
8	0.06310

$q = \frac{1}{2} \rho V^2$  为动压头， $\rho$  为空气密度，取为  $1.225 \text{ kg/m}^3$ ， $V$  为导弹速度， $S$  为参考面积，取为  $4.72 \text{ m}^2$ 。

升力  $Y = C_y q S$ ，这里  $C_y$  为升力系数， $C_y = C_y(\alpha) + C_y^{\delta_z} \cdot \delta_z$ ， $C_y(\alpha)$  是攻角  $\alpha$  的函数，如下表所示：

$\alpha(^{\circ})$	$C_y(\alpha)$
-2	-0.0666
0	0
2	0.0670
4	0.1479
8	0.3540

$C_y^{\delta_z}$  是舵面效率，表示每度舵偏引起的升力系数变化，取为 0.00455。

俯仰力矩  $M_z = m_z q S L$ ，这里  $m_z$  为俯仰力矩系数， $m_z = m_z(\alpha) + m_z^{\delta_z} \cdot \delta_z$ ， $m_z(\alpha)$  是攻角  $\alpha$  的函数，如下表所示：

$\alpha(^{\circ})$	$m_z(\alpha)$
-2	0.00524
0	0.00027
2	-0.00622

4	-0.02044
8	-0.07159

$m_z^{\delta_z}$  是舵面效率, 表示每度舵偏引起的俯仰力矩系数变化, 取为-0.00680。 $L$  是参考长度, 取为  $2.33m$ 。

$J_z$  是转动惯量, 取为固定值  $4200 kg \cdot m^2$ 。

$m_c$  是发动机秒耗量, 为  $m_c = P / I_{sp}$ , 其中  $I_{sp}$  为比冲, 取为  $I_{sp} = 2097 N \cdot s / kg$ 。

几个常量:  $g = 9.8 m / s^2$ , 声速  $a = 340 m / s$ 。

各个状态变量的初始值:  $V = 0.9a$ ,  $\theta = 0^\circ$ ,  $\omega_z = 0 rad / s$ ,  $\vartheta = 3^\circ$ ,  $x = 0m$ ,  $y = 20m$ ,

$m = 2000kg$  (质量的最小值为  $1300kg$ ),  $\alpha = 3^\circ$ ,  $\delta_z = -1.96^\circ$ 。

作业内容:

- (1) 采用 Matlab 或者 C++语言编写弹道计算程序, 采样周期为  $0.001s$ , 针对  $\delta_z = 0^\circ, \pm 1^\circ, \pm 3^\circ$ , 分别计算  $10s$  的轨迹, 输出主要状态: 俯仰角、俯仰角速度、攻角、弹道倾角和高度;
- (2) 根据(1)所得的结果, 大致估计当把  $\delta_z$  作为控制量输入  $u$  时, 分别把俯仰角、俯仰角速度和攻角作为输出  $y$  时, 响应特性符合怎样的典型环节组合? (一阶惯性、二阶惯性和积分)
- (3) 对于(2)中的结果, 试图利用最小二乘法估计出环节对象的特征参数, 并进行拟合对比。