

## Primary Symbol Index

### 主要符号索引

$p$	压力
$\tau$	拟计算时间
$V(t)$	单胞的体积( $i,j,k$ ), 即由八个网格点构成的六面体
$S(t)$	控制体六个边界的表面
$\mathbf{n}$	控制体六个边界的表面单位向外法向矢量
$\mathbf{u}_g$	移动单胞表面的局部速度
$V_{ijk}$	单胞的体积
$\Delta$	差分算子
$\mathbf{u}$	速度场
$\omega$	涡度场
$S$	局部比例因子
$\Psi$	流函数
$A_w$	机翼的总面积
$\hat{s}$	沿椭圆的切线向量
$\sigma_{ij}^+$	翅膀边界外表面上的应力张量
$n_j$	向外指向的表面法线向量
$\sigma_{ij}^-$	翅膀边界内表面的应力张量
$\varepsilon_{ij}$	二维 Levi-Civita 符号
$r_i$	从翅膀质心到其边界的矢径
$\nabla$	梯度算子
$\Delta t$	时间增量
$\tau_{rt}$	弛豫时间
$\tilde{f}_i$	分布函数的后碰撞状态
$f_i^{\text{eq}}$	均衡分布函数
$w_i$	加权系数
$c_s$	声速
$C_v$	垂直力系数
$C_H$	水平力系数
$\Delta p'$	瞬时压力波动轮廓
$AR$	展弦比
$AR_{\text{vari}}$	动态比例可缩放翅膀的可变展弦比
$Re$	雷诺数
$\rho$	当地空气密度
$\nu$	运动粘度
$U_{\text{aver}}$	翅尖平均平动速率
$C_{\text{aver}}$	平均弦长
$C_{\text{aver,orig}}$	原始翅膀的平均弦长
$C_{\text{aver,vari}}$	可变平均弦长
$C_{\text{ratio}}$	可变平均弦长和原始翅膀的平均弦长的比值

$C(r)$	前后缘之间的弦长
$\hat{C}(\hat{r})$	无量纲弦长分布
$z_{le,maxp}$	翅膀平面的前缘轮廓上的最大点与 $X_s$ 轴之间的投影距离
$C_{max,letotr}$	翅膀的前缘轮廓上的最大值点和后缘轮廓上的最小值点之间的距离
$z_{le,orig,maxp}$	初始翅膀的实际前缘轮廓的最高点和 $X_s$ -轴之间的投影距离
$C_{max,letotr,orig}$	初始翅膀的实际前缘最高点和实际后缘最低点之间的投影距离
$z_{le,orig}(r), z_{tr,orig}(r)$	原始翅平面的前缘和后缘轮廓
$\hat{z}_{le}(\hat{r}), \hat{z}_{tr}(\hat{r})$	翅平面的无量纲前缘和后缘轮廓
$R_{eff}$	翅膀有效长度
$R_{eff,orig}$	原始翅膀的有效翅膀长度
$R_{eff,vari}$	可变翅膀有效长度
$R_{ratio}$	可变翅膀有效长度和原始翅膀的有效翅膀长度的比值
$\hat{r}$	无量纲径向距离
$\hat{r}_1$	一阶面积矩回转半径
$\hat{r}_2$	二阶面积矩回转半径
$\hat{x}_r$	无量纲翅根偏置
$\hat{x}_{r,vari}$	可变无量纲翅根偏置
$\hat{x}_0$	无量纲俯仰轴位置
$\hat{x}_{0,vari}$	可变无量纲俯仰轴位置
$x_p$	可变的俯仰扭转轴
$\hat{r}_{cop}$	无量纲展向压心
$I_{ij}$	翅膀的惯性张量
$I_{ij,vari}$	动态比例可缩放翅膀的惯性张量
$\phi(t), \psi(t)$	拍打角和俯仰角
$\phi_m, \psi_m$	拍打角幅值和俯仰角幅值
$K_\phi, C_\psi$	拍打角和俯仰角轮廓的可调节参数
$\zeta$	相对于拍打角的俯仰角相位偏置
$\alpha$	几何攻角 或 无量纲拉格朗日参数
$C_L(\alpha)$	平动升力系数
$\tilde{C}_L(\alpha)$	平均平动升力系数
$\tilde{C}_D(\alpha)$	平均平动阻力系数
$C_L(\alpha_0)$	与半冲程中点攻角( $\alpha_0$ )对应的平动升力系数
$C_D(\alpha_0)$	与半冲程中点攻角( $\alpha_0$ )对应的平动阻力系数
$C_{L,s}(\eta(t))$	三维升力系数, 这里 $\eta(t)$ 是扭转角
$C_D(0)$	几何攻角为零度时的压阻力系数
$C_D\left(\frac{\pi}{2}\right)$	几何攻角为九十度时的压阻力系数
$C_D(\alpha)$	平动阻力系数

$C_F(\alpha)$	气动升阻力系数
$C_N(\alpha)$	法向平动气动力系数
$C_R$	理论转动气动力系数
$C_{rd}$	转动阻尼力矩系数
$\boldsymbol{F}_{trans}$	平动环量
$\boldsymbol{F}_{rot}$	转动环量
$\boldsymbol{F}_{QS}(\boldsymbol{r}, t)$	准稳态环量
$\Phi_{(\boldsymbol{r}, t)}$	瓦格纳函数
$\beta_n$	翅截面的虚质量系数
$C_3$ 和 $C_{add}$	虚质量系数
$d_0(\boldsymbol{r})$	前缘至扭转轴的无量纲弦向距离
$C_{Lp}$	零前缘吸力的势流升力系数
$C_{Lv}$	涡升力系数
$C_{L\alpha}$	三维机翼升力曲线的斜率
$C_{L\alpha, 2d}$	二维机翼升力曲线斜率
$E$	边缘修正因子
$E_{vari, ec}$	动态比例可缩放翅膀的可变边缘修正因子
$\lambda_1$ 和 $\lambda_2$	形状因子
$k$	诱导功率因子 或 缩减频率
$k_{s, \phi}$	沿着拍打轴线的铰链刚度系数
$k_{s, \psi}$	沿着翅膀俯仰轴线的俯仰铰链刚度系数
$M_{act}$	驱动力矩
$A$	驱动力矩幅值
$\delta_{act}$	驱动力矩相位
$\eta$	驱动力矩偏置
$f_n$	翅膀俯仰运动的自然频率
$\lambda$	频率比 或 拟压缩系数 或 波长
$k_{pitch, hinge}$	翅膀俯仰铰链刚度系数
$\delta$	理论预测俯仰角相对于实测的拍打角之间的相位偏置
$F_{trans, y}$	平动法向气动力
$F_{rot, y}$	转动法向气动力
$F_{add, y}$	虚质量法向力
$\hat{F}_{trans}$	无量纲平动气动力
$F_{inert, i}$	翅膀自身的绕翅平面坐标系的 $i$ -轴的惯性力
$\hat{M}_{coeff, trans, z}$	沿着翅肩坐标系 $z$ -轴的无量纲平动气动力矩
$\hat{r}_{spw, cop, trans}$	平动气动力压心相对于翅肩坐标系 $z$ -轴的展向无量纲位置
$z_{cop}(\boldsymbol{r})$	压心相对于翅平面俯仰轴线的弦向距离
$\hat{d}_{cop}(\alpha)$	压心相对前缘的无量纲弦向位置分布

$\hat{z}_{\text{cop}}(\hat{r}_{\text{spw,cop,trans}})$	平动气动力压心相对于俯仰轴线的无量纲弦向位置分布
$\hat{F}_{\text{rot}}$	无量纲转动气动力
$\hat{M}_{\text{coeff,rot,z}}$	翅肩坐标系下沿着 $z$ -轴的无量纲转动气动力矩
$\hat{r}_{\text{spw,cop,rot}}$	转动气动力压心相对于翅肩坐标系 $z$ -轴的展向无量纲位置
$\hat{z}_{\text{cop}}(\hat{r}_{\text{spw,cop,rot}})$	转动气动力压心相对于俯仰轴线的无量纲弦向位置分布
$\hat{M}_{\text{coeff,rd,x}}$	翅肩坐标系下沿着 $x$ -轴无量纲转动阻尼系数
$\hat{z}_{\text{rd}}(\hat{r})$	阻尼有效力臂相对于俯仰轴的无量纲相对距离
$\hat{M}_{\text{coeff,rd,z}}$	翅肩坐标系下沿着 $z$ -轴的无量纲转动阻尼力矩系数
$\hat{z}_{\text{h}}(\hat{r})$	俯仰轴线与某一片条单元中点之间的无量纲偏置距离
$\hat{F}_{\text{coeff,add,y,l}}$	无量纲转动虚拟质量力
$\hat{I}_{xx,\text{am}}, \hat{I}_{xz,\text{am}}, \hat{M}_{\text{coeff,add,z,l}}$	无量纲转动虚拟质量力矩
$M_{z,\text{T,P}}$ 和 $M_{z,\text{R,P}}$	平动和转动气动力矩系数
$M_{x,\text{Rd,P}}$ 和 $M_{z,\text{Rd,P}}$	沿着 $x$ -轴和 $z$ -轴的转动阻尼力矩系数
$I_{xz,\text{am,P}}, I_{xx,\text{am,P}}$ 和 $M_{z,\text{R,P}}$	虚拟质量力矩系数
$P^*$	功率密度
$LtoW$	升重比
$\bar{P}_{\phi}, \bar{P}_{\psi}$	平均拍打和俯仰功率
$P_{x,\text{total}}, P_{Z,\text{total}}$	拍打和俯仰气动总功率
$P_{x,\text{trans}}, P_{Z,\text{trans}}$	平动环量气动功率
$P_{x,\text{rot}}, P_{Z,\text{rot}}$	转动环量气动功率
$P_{x,\text{rd}}, P_{Z,\text{rd}}$	转动阻尼功率
$P_{x,\text{add}}, P_{Z,\text{add}}$	虚质量功率
$P_{x,\text{inert}}, P_{Z,\text{inert}}$	拍打和俯仰惯性功率
$P_{x,\text{total,posit}}, P_{Z,\text{total,posit}}$	正的拍打和俯仰机械总功率
$\Phi$	冲程角的峰峰值
$\Phi_{st}$	静态总拍打角峰峰值
$T$	传动比
$T_{est}$	传动比的线性近似预测值
$F_b$	压电驱动器堵死力的幅值
$\delta_{st}$	静态或者自由位移幅值
$F_a$	压电驱动器产生的输出驱动力
$m_{a,\text{eff}}$	压电驱动器的有效质量
$k_a$	压电驱动器的刚度系数
$b_a$	压电驱动器的阻尼系数
$m_{eq}$	振翅动力学系统的等效质量
$I_w$	单个翅膀沿拍打轴的质量惯性矩

$k_{eq}$	振翅动力学系统的等效刚度系数
$k_t$	传动机构的刚度系数
$b_{eq}$	振翅动力学系统的等效阻尼系数
$F_L$ 和 $F_D$	气动升力和阻力
$F_{damp}$	气动阻尼力
$r_{cp}$	平动气动力的展向压心
$\hat{r}_{cp}$	平动气动力的无量纲展向压心
$X$	压电驱动器输出位移的幅值
$\hat{X}$	振幅比放大因子
$\phi_p$	压电驱动器输出位移的相位
$b$	阻尼系数
$\beta$	振翅动力学系统的相位特性
$\omega_n$	振翅动力学系统的自然频率
$q$	振翅动力学系统的品质因子
$\mu_p$	负载质量百分比
$\mu_a$	压电驱动器质量百分比
$\mu_b$	电池质量百分比
$S_a$	压电驱动器的能量密度
$S_b$	电池的能量密度
$R_{crit}$	临界翅膀长度
$R_{min}$	最小的翅膀长度
$t_f$	悬飞时长
$t_f^*$	最大的飞行时间
$J$	前进比 或 雅克比行列式
$V$	前飞速度
$d_{max}$	航程
$\delta_{tip}$	翼尖变形位移
$\hat{\delta}_{tip}$	无量纲翼尖变形位移
$E_w$	翅膀的杨氏模量
$I_{w,\alpha}$	梁型截面的二阶面积矩
$I_0$	圆的二阶面积矩
$\phi_B^e$	梁型截面的形状因子
$\phi_w$	翅膀结构-惯性效率的整体度量
$M_1$	翅膀结构效率的性能度量
$\varepsilon$	应变
$\sigma$	应力 或 转换参数
$\upsilon$	电位移
$e_{max}$	最大应变能密度
$\varepsilon_{max}$	最大应变
$d_{31}$	压电陶瓷(PZT-5H)的压电系数
$E_{pzt}$	压电陶瓷(PZT-5H)的弹性模量

$E_{p,1}$	压电陶瓷板不受拉压应力作用时的模量
$E_{p,2}$	压电陶瓷板随着应变变化而改变的模量
$\sigma_u$	极限应力
$\nu_{12}$	泊松比
$G_{12}$	剪切模量
$E_3$	电场强度
$E_{3,\max}$	最大电场强度
$\varepsilon_{1,\max}$	最大机械应变
$\xi_{1,\max}$	最大压电应变
$F_{b,\text{ext}}$	压电驱动器的远端尖部固定时堵死力的峰值
$\delta(l+l_{\text{ext}})_{\max}$	压电驱动器的远端尖部输出的无负载自由位移的峰峰值
$\alpha$	热膨胀系数
$[\bar{\alpha}]$	形变热膨胀系数
$Q_{ij}$	柔顺刚度矩阵的元素
$\varepsilon^0$	中性平面的应变
$\kappa$	中性平面的应变曲率
$N^{\text{ext}}$ 和 $M^{\text{ext}}$	单位宽度的外部力和力矩
$N^p$ 和 $M^p$	单位宽度的压电力和力矩
$N^t$ 和 $M^t$	单位宽度的热膨胀或收缩力和力矩
$M_x(x)$	外载荷作用在压电驱动器自由端时产生的沿截面分布的力矩
$\delta_{\text{pp}}$	驱动器远端的峰峰值位移
$E_{\text{CF}}$	碳纤维聚合物的弹性模量
$t_{\text{pzt}}$	压电陶瓷的厚度
$t_{\text{CF}}$	碳纤维聚合物的厚度
$L_{\text{act}}$	压电陶瓷的长度
$L_{\text{ext}}$	氧化铝延伸段的长度
$w_r$	宽度因子，即压电陶瓷近端根部宽度和其平均宽度的比值
$l_r$	长度因子，即延伸段和压电陶瓷长度的比值
$w_{\text{nom}}$	名义宽度，也被称为压电陶瓷的平均宽度
$G_{F_b}$	输出力几何尺寸常量
$ED_m$	能量密度
$\rho_n$ 和 $t_n$	分别表示第 $n$ 层片的密度和厚度
$F_{\max}$	压电驱动器的最大堵死力
$\dot{\delta}(x)$	压电驱动器沿着长度方向分布的速率
$w(x)$	压电驱动器沿着长度方向分布的宽度
$m_{\text{act}}$	压电驱动器的理论质量
$M$	有效质量系数 或 马赫数
$d_r$	厚度因子，即压电陶瓷层与中间碳纤维结构层的厚度比
$f_d$	压电驱动器的共振频率
$f_{31}$	压电驱动器的机电耦合系数