



中华人民共和国国家标准

GB/T 16638.2—1996

空气动力学 概念、量和符号 第2部分 坐标轴系和飞行器运动状态量

Aerodynamics—Concepts, quantities and symbols
Part 2 Axis systems and aircraft motion state quantities

1996-12-13 发布

1997-06-01 实施

国家技术监督局 发布

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 术语和符号	1
2.1 坐标轴系	1
2.2 坐标轴系之间的角度	2
2.3 坐标轴系之间的关系——坐标变换矩阵	4
2.4 速度和角速度	5
2.5 操纵面偏转角	6
汉语索引(按汉语拼音顺序编排)	11
英文索引(按英文字母顺序编排)	11

前 言

本标准参照采用国际标准 ISO 1151《飞行动力学——概念、量和符号》并与国家标准 GB/T 14410.1—93《飞行力学 概念、量和符号 坐标轴系和运动状态变量》相协调。

本标准是系列标准《空气动力学 概念、量和符号》中的一个,其他标准还有:

GB/T 16638.1—1996 《空气动力学 概念、量和符号 第1部分 空气动力学常用术语》;

GB/T 16638.3—1996 《空气动力学 概念、量和符号 第3部分 飞行器几何特性》;

GB/T 16638.4—1996 《空气动力学 概念、量和符号 第4部分 飞行器的空气动力、力矩及其系数和导数》。

本标准由航空工业总公司提出。

本标准由航空工业总公司 301 所归口。

本标准由北京航空航天大学、航空工业总公司 627 所等单位负责起草。

本标准主要起草人:肖业伦、范洁川、张克军、陈 玉。

中华人民共和国国家标准

空气动力学 概念、量和符号

第2部分 坐标轴系和飞行器运动状态量 GB/T 16638.2—1996

Aerodynamics—Concepts, quantities and symbols

Part 2 Axis systems and aircraft motion state quantities

1 范围

本标准规定了描述航空飞行器运动的坐标轴系和基本的运动状态量。

本标准适用于具有固定翼的航空飞行器,其他飞行器可参照使用。

在本标准中将飞行器视为刚体,将大地视为平面。

2 术语和符号

2.1 坐标轴系

下面定义的坐标轴系都是右手直角坐标系。

编号	术语	定义或说明	符号
2.1.1	铅垂地面固定坐标轴系 normal earth-fixed axis system	相对于地面固定不动的坐标轴系,其轴 z'_g 为铅垂向下,轴 x'_g 和 y'_g 在水平平面内,其方向可以任意规定。简称地轴系	$Ox'_gy'_gz'_g$ 简写 S'_g
2.1.2	飞行器牵连铅垂地面坐标轴系 aircraft-carried normal earth axis system	原点 O 通常位于飞行器质心,坐标轴 x_g, y_g, z_g 分别与 x'_g, y'_g, z'_g (2.1.1) 平行(参看图1)。简称牵连地轴系	$Ox_gy_gz_g$ 简写 S_g
2.1.3	机体坐标轴系 body axis system	固定在飞机上的坐标系,其原点 O 通常位于飞行器质心;轴 x 称为纵轴,平行于机身轴线或翼根弦线,指向前方;轴 y 称为横轴,垂直于飞行器纵对称面,指向右方;轴 z 称为竖轴,在飞行器纵对称面内,垂直于纵轴,指向下方(参看图1)。简称体轴系	$Ox_by_bz_b$ 或 $Oxyz$ 简写 S_b
2.1.4	气流坐标轴系 air-path axis system	由飞行器飞行速度(相对于空气的速度)矢量决定的坐标系,其原点 O 通常位于飞行器质心,轴 x_a 沿飞行器飞行速度(2.4.1.1)矢量,轴 z_a 在飞行器纵对称平面内,垂直于轴 x_a ,指向下方;轴 y_a 垂直于轴 x_a 和 z_a ,指向右方(参看图2)	$Ox_ay_az_a$ 简写 S_a

编号	术语	定义或说明	符号
2.1.5	半机体坐标轴系 intermediate axis system	介于气流坐标轴系(2.1.4)与机体坐标轴系(2.1.3)之间的坐标轴系,其原点 O 通常位于飞行器质心,轴 x_i 沿飞行器飞行速度(2.4.1.1)矢量在飞行器纵对称面的投影;轴 y_i 垂直于飞行器纵对称平面,指向右方;轴 z_i 在飞行器纵对称平面内,垂直于轴 x_i ,指向下方(参看图2)	$Ox_iy_iz_i$ 简写 S_i
2.1.6	稳定性坐标轴系 stability axis system	在受扰运动中固连于飞行器的坐标轴系,其原点 O 通常位于飞行器质心,轴 x_s 沿未扰动运动中飞行器飞行速度(2.4.1.1)矢量在飞行器纵对称平面上的投影;轴 y_s 垂直于飞行器纵对称平面,指向右方;轴 z_s 在飞行器纵对称平面内,垂直于轴 x_s ,指向下方	$Ox_sy_sz_s$ 简写 S_s
2.1.7	计算坐标轴系 computational axis system	在计算空气动力学中使用的坐标轴系,其原点 O 通常位于机身顶点,轴 x_c 沿机身轴线,指向后方;轴 y_c 垂直于飞行器纵对称平面,指向右方;轴 z_c 在飞行器纵对称平面内,垂直于轴 x_c ,指向上方	$Ox_cy_cz_c$ 简写 S_c
2.1.8	风洞坐标轴系 wind-tunnel axis system	在风洞试验中使用的坐标轴系,其原点 O 在风洞试验段纵轴上的某点,轴 x_w 沿风洞试验段纵轴,逆气流方向;轴 z_w 在实验段纵对称平面内,垂直于纵轴;轴 y_w 垂直于试验段纵对称平面,沿逆气流方向看去指向右方	$Ox_wy_wz_w$ 简写 S_w

2.2 坐标轴系之间的角度

此节定义各坐标轴系之间的角度。在说明坐标轴系的关系时使用的符号,例如 $R_y(\alpha)$,表示绕轴 y 转过角度 α 。除分别定义相邻坐标轴系的关系外,还将这些关系汇总在图4中。

2.2.1 气流坐标轴系与机体坐标轴系之间的角度

气流坐标轴系(2.1.4)与机体坐标轴系(2.1.3)的关系是

$$\begin{array}{ccc}
 S_a & \xrightarrow{R_z(-\beta)} & O \xrightarrow{R_y(\alpha)} S_b \\
 S_a & \xleftarrow{R_z(\beta)} & O \xleftarrow{R_y(-\alpha)} S_b
 \end{array}$$

其中 β 为侧滑角, α 为迎角(参看图2)。

编号	术语	定义或说明	符号
2.2.1.1	侧滑角 angle of sideslip	飞行速度(2.4.1.1)与飞行器纵对称平面的夹角。当飞行速度沿机体横轴 y (2.1.3)的分量为正时,侧滑角为正。角 β 的范围为 $-\pi/2 \leq \beta \leq \pi/2$	β
2.2.1.2	迎角 angle of attack	飞行速度(2.4.1.1)在飞行器纵对称平面上的投影与机体纵轴 x (2.1.3)的夹角。当飞行速度沿机体竖轴 z (2.1.3)的分量为正时,迎角为正。角 α 的范围为 $-\pi \leq \alpha \leq \pi$	α

2.2.2 机体坐标轴系与飞行器牵连铅垂地面坐标轴系之间的角度

机体坐标轴系(2.1.3)与飞行器牵连铅垂地面坐标轴系(2.1.2)的关系是

$$\begin{array}{c}
 S_g \xrightarrow{R_x(\phi)} O \xrightarrow{R_y(\theta)} O \xrightarrow{R_z(\phi)} S_b \\
 S_g \xleftarrow{R_x(-\phi)} O \xleftarrow{R_y(-\theta)} O \xleftarrow{R_z(\phi)} S_b
 \end{array}$$

其中 ψ 是偏航角, θ 是俯仰角, ϕ 是滚转角(参看图 1)。

编号	术语	定义或说明	符号
2.2.2.1	偏航角(方向角) yaw angle	机体纵轴 x (2.1.3)在水平面上的投影与轴 x_g 的夹角。当纵轴正半轴的投影位于轴 x_g 的右侧时, ψ 为正。角 ψ 的范围为 $-\pi \leq \psi \leq \pi$	ψ
2.2.2.2	俯仰角 pitch angle	机体纵轴 x (2.1.3)与水平面的夹角。当纵轴的正半轴位于过原点的水平面之上时, θ 为正。角 θ 的范围为 $-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$	θ
2.2.2.3	滚转角 roll angle, bank angle	机体竖轴 z (2.1.3)与通过纵轴 x 的铅垂平面的夹角。当竖轴的正半轴位于该铅垂平面之左时, ϕ 为正。角 ϕ 的范围为 $-\pi \leq \phi \leq \pi$	ϕ

2.2.3 气流坐标轴系与飞行器牵连铅垂地面坐标轴系之间的角度

气流坐标轴系(2.1.4)与飞行器牵连铅垂地面坐标轴系(2.1.2)的关系是

$$\begin{array}{c}
 S_g \xrightarrow{R_x(\chi_a)} O \xrightarrow{R_y(\gamma_a)} O \xrightarrow{R_z(\mu_a)} S_a \\
 S_g \xleftarrow{R_x(-\chi_a)} O \xleftarrow{R_y(-\gamma_a)} O \xleftarrow{R_z(-\mu_a)} S_a
 \end{array}$$

其中 χ_a 是气流偏航角, γ_a 是气流俯仰角, μ_a 是气流倾侧角(参看图 3)。

编号	术语	定义或说明	符号
2.2.3.1	气流偏航(方向)角 air-path azimuth angle	气流坐标轴系(2.1.4)的轴 x_a 在水平面上的投影与轴 x_g 的夹角。当轴 x_a 的正半轴的投影线位于轴 x_a 之右时, χ_a 为正。角 χ_a 的范围为 $-\pi \leq \chi_a \leq \pi$	χ_a 或 ϕ_a
2.2.3.2	气流俯仰角 air-path pitch angle	气流坐标轴系(2.1.4)的轴 x_a 与水平面的夹角。当轴 x_a 的正半轴位于通过原点的水平面之上时, γ_a 为正。 γ_a 的范围为 $-\pi/2 \leq \gamma_a \leq \pi/2$	γ_a 或 θ_a
2.2.3.3	气流倾侧角 air-path bank angle	为了使轴 y_a 转到水平平面, 气流坐标轴系(2.1.4)必须绕轴 x_a 负向转动的角度	μ_a 或 ϕ_a

2.2.4 稳定性坐标系与机体坐标系之间的角度

稳定性坐标系 S_s 与机体坐标系 S_b 的关系是

$$\begin{aligned} S_s &\xrightarrow{R_y(\alpha_e)} S_b \\ S_s &\xleftarrow{R_y(-\alpha_e)} S_b \end{aligned}$$

其中 α_e 是基准状态迎角。

编号	术语	定义或说明	符号
2.2.4.1	基准状态迎角 angle of attack in datum state	在飞行器未受扰动的基准状态下的迎角	α_e

2.3 坐标轴系之间的关系——坐标变换矩阵

2.3.1 坐标变换矩阵的一般表示法

设矢量 v 在坐标轴系 S_a 和 S_b 中的分量列阵分别为

$$(v)_a = (v_{xa} \ v_{ya} \ v_{za})^T$$

$$(v)_b = (v_{xb} \ v_{yb} \ v_{zb})^T$$

它们可以通过一个矩阵 L_{ba} 联系起来

$$\begin{bmatrix} v_{xb} \\ v_{yb} \\ v_{zb} \end{bmatrix} = L_{ba} \begin{bmatrix} v_{xa} \\ v_{ya} \\ v_{za} \end{bmatrix} \quad \text{或} \quad (v)_b = L_{ba} (v)_a$$

L_{ba} 称为从坐标轴系 S_a 到 S_b 的坐标变换矩阵。它取决于 S_b 和 S_a 的相对角位置。

变换矩阵的逆向性质为

$$L_{ab} = (L_{ba})^{-1} = (L_{ba})^T$$

绕一个轴转动而形成的矩阵称为基元变换矩阵。与 $R_x(\alpha)$ 相对应, 绕轴 x 转过角 α 形成的基元变换矩阵为

$$L_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

与 $R_y(\beta)$ 相对应, 绕轴 y 转过角 β 形成的基元变换矩阵为

$$L_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix}$$

与 $R_z(\gamma)$ 相对应, 绕轴 z 转过角 γ 形成的基元变换矩阵为

$$L_z(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.3.2 飞行器牵连铅垂地面坐标轴系与机体坐标轴系之间的变换

$$L_{bg} = L_x(\phi)L_y(\theta)L_z(\psi) = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \phi & \cos \theta \sin \phi & -\sin \theta \\ \sin \phi \sin \theta \cos \phi & \sin \phi \sin \theta \sin \phi & \sin \phi \cos \theta \\ -\cos \phi \sin \psi & +\cos \phi \cos \psi & \\ \cos \phi \sin \theta \cos \phi & \cos \phi \sin \theta \sin \phi & \cos \phi \cos \theta \\ +\sin \phi \sin \psi & -\sin \phi \cos \psi & \end{bmatrix}$$

2.3.3 机体坐标轴系与气流坐标轴系之间的变换

$$L_{ab} = L_x(\beta)L_y(-\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \sin \beta & \sin \alpha \cos \beta \\ -\cos \alpha \sin \beta & \cos \beta & -\sin \alpha \sin \beta \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

2.3.4 机体坐标轴系与半机体坐标轴系之间的变换

$$L_{ib} = L_y(-\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

2.3.5 半机体坐标轴系与气流坐标轴系之间的变换

$$L_{ai} = L_z(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.3.6 飞行器牵连铅垂地面坐标轴系与气流坐标轴系之间的变换

$$L_{ag} = L_x(\mu_a)L_y(\gamma_a)L_z(\chi_a) = \begin{bmatrix} \cos \gamma_a \cos \chi_a & \cos \gamma_a \sin \chi_a & -\sin \gamma_a \\ \sin \mu_a \sin \gamma_a \cos \chi_a & \sin \mu_a \sin \gamma_a \sin \chi_a & \sin \mu_a \cos \gamma_a \\ -\cos \mu_a \sin \chi_a & +\cos \mu_a \cos \chi_a & \\ \cos \mu_a \sin \gamma_a \cos \chi_a & \cos \mu_a \sin \gamma_a \sin \chi_a & \cos \mu_a \cos \gamma_a \\ +\sin \mu_a \sin \chi_a & -\sin \mu_a \cos \chi_a & \end{bmatrix}$$

2.3.7 稳定性坐标轴系与机体坐标轴系之间的变换

$$L_{bg} = L_y(\alpha_e) = \begin{bmatrix} \cos \alpha_e & 0 & -\sin \alpha_e \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha_e & 0 & \cos \alpha_e \end{bmatrix}$$

2.4 速度和角速度

2.4.1 速度

编号	术语	定义或说明	符号
2.4.1.1	飞行速度 flight velocity 对空气的速度 velocity with respect to air	飞行器质心相对于未受飞行器流场影响的空气的速度	V
2.4.1.2	空速 airspeed	飞行速度的标量	V
2.4.1.3	飞行速度分量 components of flight velocity	飞行速度(2.4.1.1)在各坐标轴系中的分量。 在飞行器牵连铅垂地面坐标轴系(2.1.2)中: 沿轴 x_g 的分量 沿轴 y_g 的分量 沿轴 z_g 的分量 在机体坐标轴系(2.1.3)中: 沿纵轴的分量 沿横轴的分量 沿竖轴的分量 注: 在气流坐标轴系中, 沿轴 x 的分量等于空速, 即 $u_g = V$	u_g v_g w_g u v w

2.4.2 角速度

编号	术语	定义或说明	符号
2.4.2.1	飞行器角速度 aircraft angular velocity	飞行器本体(即机体坐标轴系)相对于地球的角速度	Ω 或 ω
2.4.2.2	滚转角速度 rate of roll	飞行器角速度(2.4.2.1)沿机体纵轴的分量	p 或 ω_x
2.4.2.3	俯仰角速度 rate of pitch	飞行器角速度(2.4.2.1)沿机体横轴的分量	q 或 ω_y
2.4.2.4	偏航(方向)角速度 rate of yaw	飞行器角速度(2.4.2.1)沿机体竖轴的分量	r 或 ω_z

2.5 操纵面偏转角

这里主要定义水平尾翼位于机翼之后飞机上采用的主要操纵面偏转角。非常规飞机的操纵面偏转角的术语、定义和符号可以参照本标准的规定另行制订。

编号	术语	定义或说明	符号
2.5.1	升降舵偏角 elevator deflection	升降舵绕其铰链轴偏转的角度,以后缘向下为正。 注:升降舵的正向偏转(即 $\delta_e > 0$)产生负的俯仰力矩	δ_e
2.5.2	全动(或可动)平尾偏角 deflection of movable stabilizer	全动(或可动)平尾绕其铰链轴偏转的角度,以后缘向下为正。 注:全动(或可动)平尾的正向偏转(即 $\varphi > 0$)产生负的俯仰力矩	φ
2.5.3	方向舵偏角 rudder deflection	方向舵绕其铰链轴偏转的角度,以后缘向左为正。 注:方向舵的正向偏转(即 $\delta_r > 0$)产生负的偏航力矩	δ_r
2.5.4	左副翼偏角 deflection of left aileron	左副翼绕其铰链轴偏转的角度,以后缘向下为正 注:左副翼的正向偏转(即 $\delta_{a,l} > 0$)产生正的滚转力矩	$\delta_{a,l}$
2.5.5	右副翼偏角 deflection of right aileron	右副翼绕其铰链轴偏转的角度,以后缘向下为正 注:右副翼的正向偏转(即 $\delta_{a,r} > 0$)产生负的滚转力矩	$\delta_{a,r}$
2.5.6	副翼偏角 aileron deflection	由左副翼偏角(2.5.4)和右副翼偏角(2.5.5)决定的综合量: $\delta_a = (\delta_{a,r} - \delta_{a,l})/2$ 左副翼和右副翼总是反向偏转的	δ_a
2.5.7	升降舵调整片偏角 deflection of elevator trimmer	升降舵调整片绕其铰链轴偏转的角度,以后缘向下为正	$\delta_{t,e}$
2.5.8	方向舵调整片偏角 deflection of rudder trimmer	方向舵调整片绕其铰链轴偏转的角度,以后缘向左为正	$\delta_{t,r}$

编号	术语	定义或说明	符号
2.5.9	副翼调整片偏角 deflection of aileron trimmer	副翼调整片绕其铰链轴偏转的角度,以后缘向下为正	$\delta_{t,a}$
2.5.10	襟翼偏角 flap deflection	襟翼相对于收起位置偏转的角度。对于后缘襟翼,以襟翼后缘向下为正;对于前缘襟翼,以襟翼前缘向下为正	δ_f
2.5.11	鸭翼偏角 canard deflection	鸭翼绕其铰链轴偏转的角度,以后缘向下为正。 注:鸭翼的正向偏转($\delta_c > 0$)产生正的俯仰力矩	δ_c

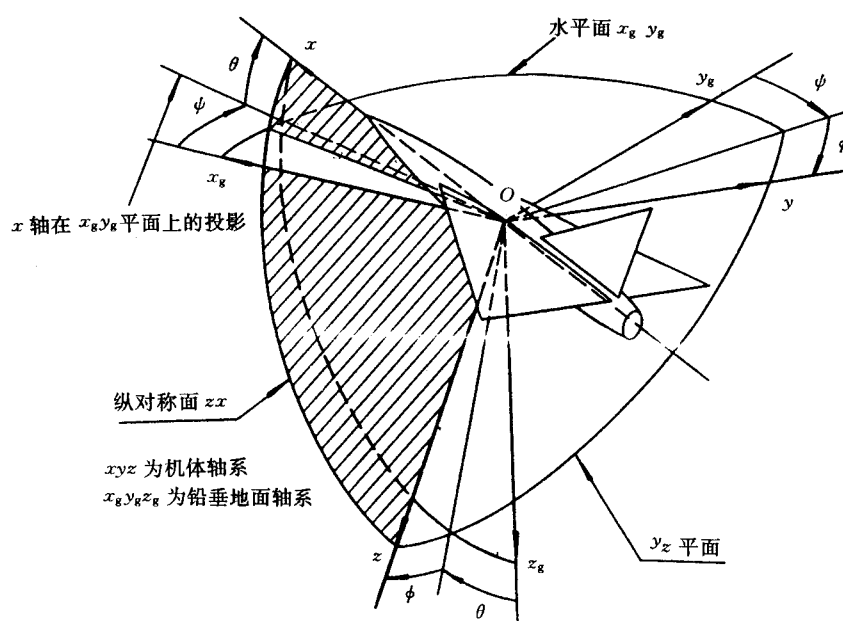


图 1 机体轴系与铅垂地面轴系的关系

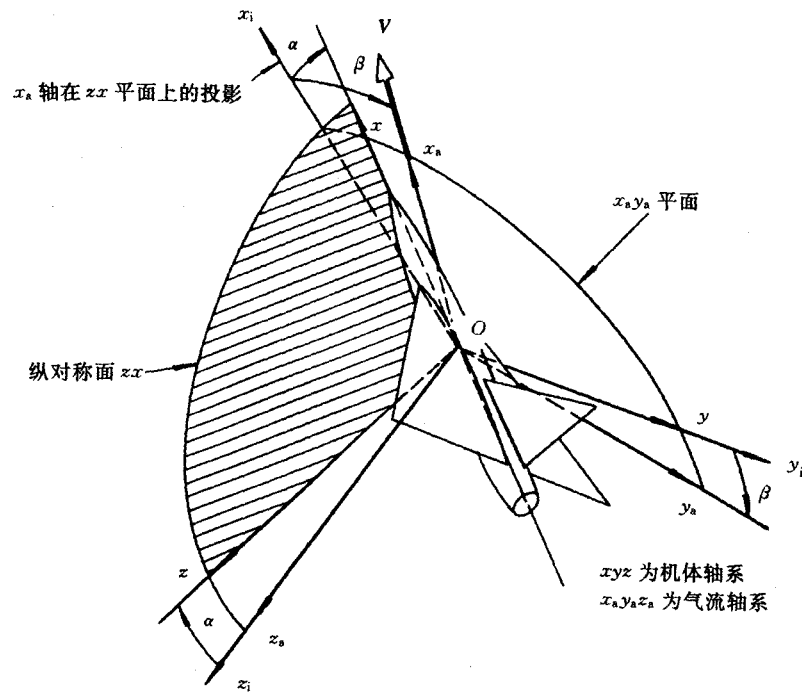


图2 气流轴系、半机体轴系与机体轴系的关系

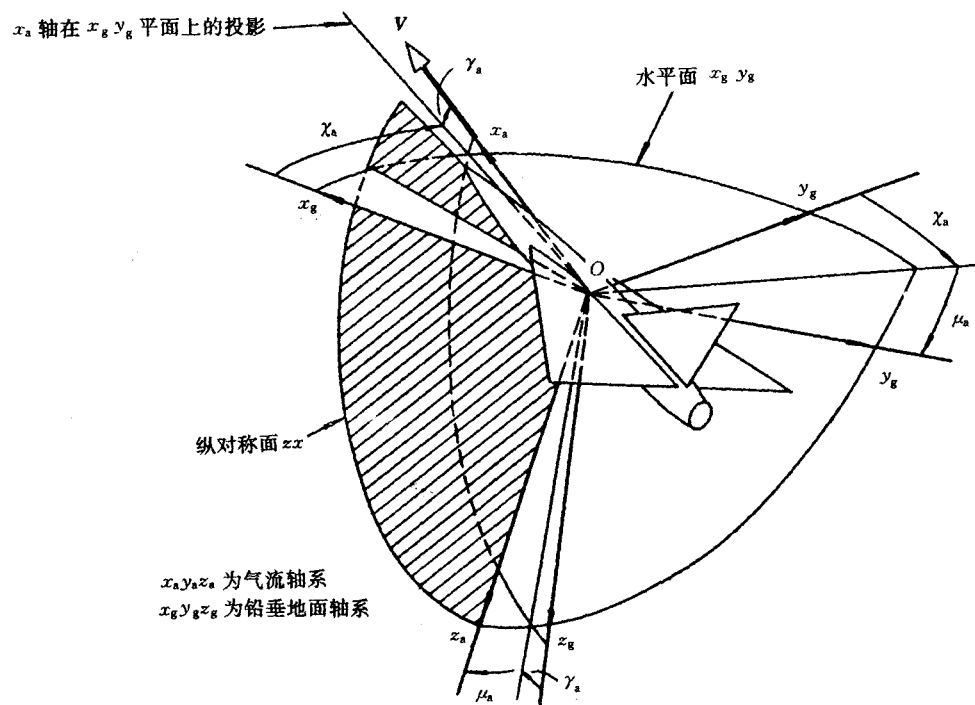


图3 气流轴系与铅垂地面轴系的关系

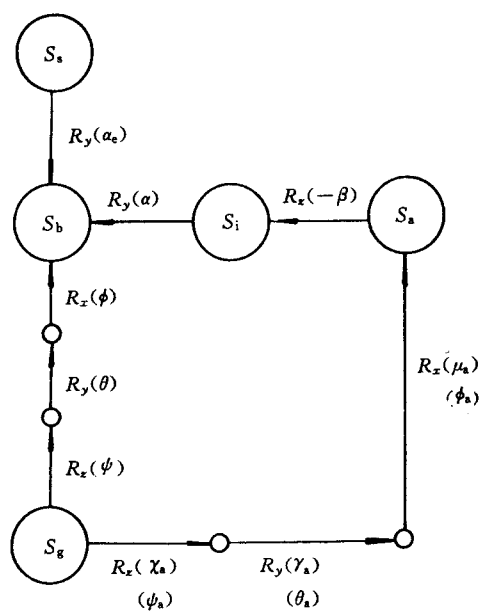


图 4 各坐标轴系之间的关系总图

汉语索引

(按汉语拼音顺序编排)

B		P	
半机体坐标轴系·····	2.1.5	偏航角(方向角)·····	2.2.2.1
C		偏航(方向)角速度·····	2.4.2.4
侧滑角·····	2.2.1.1	Q	
F		气流俯仰角·····	2.2.3.2
方向舵偏角·····	2.5.3	气流偏航角(气流方向角)·····	2.2.3.1
方向舵调整片偏角·····	2.5.8	气流倾侧角·····	2.2.3.3
飞行器角速度·····	2.4.2.1	气流坐标轴系·····	2.1.4
飞行器牵连铅垂地面坐标轴系·····	2.1.2	铅垂地面固定坐标轴系·····	2.1.1
飞行速度·····	2.4.1.1	全动平尾偏角·····	2.5.2
飞行速度分量·····	2.4.1.3	S	
风洞坐标轴系·····	2.1.8	升降舵偏角·····	2.5.1
俯仰角·····	2.2.2.2	升降舵调整片偏角·····	2.5.7
俯仰角速度·····	2.4.2.3	W	
副翼偏角·····	2.5.6	稳定性坐标轴系·····	2.1.6
副翼调整片偏角·····	2.5.9	Y	
G		鸭翼偏角·····	2.5.11
滚转角·····	2.2.2.3	迎角·····	2.2.1.2
滚转角速度·····	2.4.2.2	右副翼偏角·····	2.5.5
J		Z	
机体坐标轴系·····	2.1.3	左副翼偏角·····	2.5.4
基准状态迎角·····	2.2.4.1		
计算坐标轴系·····	2.1.7		
襟翼偏角·····	2.5.10		
K			
空速·····	2.4.1.2		

英文索引

(按英文字母顺序编排)

A		aircraft angular velocity ·····	2.4.2.1
aileron deflection ·····	2.5.6	aircraft-carried normal earth axis system ·····	2.1.2

air-path axis system	2.1.4	flight velocity	2.4.1.1
air-path azimuth angle	2.2.3.1		
air-path bank angle	2.2.3.3	I	
air-path pitch angle	2.2.3.2	intermediate axis system	2.1.5
airspeed	2.4.1.2	N	
angle of attack	2.2.1.2	normal earth-fixed axis system	2.1.1
angle of attack in datum state	2.2.4.1	P	
angle of sideslip	2.2.1.1		
B		pitch angle	2.2.2.2
bank angle	2.2.2.3	R	
body axis system	2.1.3		
C		rate of pitch	2.4.2.3
canard deflection	2.5.11	rate of roll	2.4.2.2
components of flight velocity	2.4.1.3	rate of yaw	2.4.2.4
computational axis system	2.1.7	roll angle	2.2.2.3
D		rudder deflection	2.5.3
deflection of aileron trimmer	2.5.9	S	
deflection of elevator trimmer	2.5.7	stability axis system	2.1.6
deflection of left aileron	2.5.4	W	
deflection of movable stabilizer	2.5.2	wind-tunnel axis system	2.1.8
deflection of right aileron	2.5.5	Y	
deflection of rudder trimmer	2.5.8		
E		yaw angle	2.2.2.1
elevator deflection	2.5.1		
F			
flap deflection	2.5.10		

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
空气动力学 概念、量和符号
第2部分 坐标轴系和飞行器运动状态量
GB/T 16638.2—1996

*

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045
电 话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
版权专有 不得翻印

*

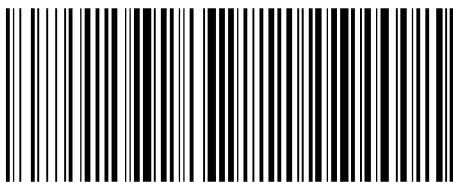
开本 880×1230 1/16 印张 1¼ 字数 24 千字
1997年6月第一版 1997年6月第一次印刷
印数 1—600

*

书号: 155066·1-13875 定价 13.00 元

*

标 目 312—053



GB/T 16638.2—1996