

# QJ

## 中华人民共和国航天行业标准

FL 1600

QJ 1028B—2008

代替 QJ 1028A-1995

---

### 航天产品常用坐标系

**General coordinate for astronautics product**

2008—03—17 发布

2008—10—01 实施

---

国防科学技术工业委员会 发布

## 目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义、坐标系的基本定义.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 坐标系的基本定义.....	3
4 一般要求.....	4
4.1 直角坐标系的表示.....	4
4.2 坐标系序数词的使用.....	4
4.3 坐标轴字母及其下标的选用.....	4
4.4 春分点、赤道的使用.....	4
4.5 坐标系的形式.....	4
4.6 坐标之间的变换形式.....	5
5 航天产品常用坐标系.....	9
5.1 总则.....	9
5.2 第一类坐标系.....	12
5.3 第二类坐标系.....	12
5.4 第三类坐标系.....	12

## 前 言

本标准代替QJ 1028A-1995《航天产品常用坐标系》。

本标准与QJ 1028A-1995相比，主要作了如下修订：

- 1) 根据工程实践对原标准规定的坐标系重新进行审定和完善；
- 2) 增加了探月工程常用坐标系；
- 3) 增加了载人运载火箭常用坐标系。

本标准由中国航天科技集团公司提出。

本标准由中国航天标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国航天科技集团公司第一研究院第一设计部。

本标准主要起草人：张旭辉、余梦伦、茹家欣。

本标准于1986年8月首次发布，1995年4月第一次修订。

# 航天产品常用坐标系

## 1 范围

本标准规定了航天产品的常用坐标系、定义及变换公式。

本标准适用于导弹、运载火箭和航天器等航天产品的总体设计及有关方面。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GJB 1028-1990 卫星坐标系

GJB 2496-1995 载人飞船航天工程术语

## 3 术语和定义、坐标系的基本定义

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1.1

**载人飞船** manned spacecraft

供航天员在太空短期生活和工作并返回的载人航天器，如卫星式载人飞船、登月飞船等。又称太空飞船，简称飞船。

[GJB 2496-1995 中 3.1.5]

#### 3.1.2

**载人运载火箭** launch vehicle for manned spacecraft

用于发射载人飞船的运载火箭。

#### 3.1.3

**逃逸飞行器** escape vehicle

出现致命性故障时，与火箭分离并逃离险区的飞行器。包括逃逸塔、上部整流罩、栅格翼和整流罩内的轨道舱、返回舱等。

[GJB 2496-1995 中 3.8.21]

#### 3.1.4

**天球** celestial sphere

为了确定天体的视位置而引进的一个假想圆球。根据所选取的天球中心不同，有日心天球、地心天球等。天球的半径是任意选定的，可以当作数学上的无穷大。

[GJB 1028-1990 中 3.1]

#### 3.1.5

**黄道** ecliptic

地球绕太阳公转的轨道平面与天球相交的大圆。

[GJB 1028-1990 中 3.2]

### 3.1.6

**天赤道** celestial equator

地球赤道平面与天球相交的大圆。

[GJB 1028-1990 中 3.3]

### 3.1.7

**春分点** vernal equinox

太阳沿黄道从天赤道以南向北通过天赤道的那一点。

[GJB 1028-1990 中 3.4]

### 3.1.8

**黄经** celestial longitude

以黄道面为基本平面的天球坐标系中，过黄极的大圆称“黄经圈”，过春分点的黄经圈为主圈。天体所在的黄经圈与主圈之间的夹角为黄经。由主圈起逆时针方向量度。

[GJB 1028-1990 中 3.5]

### 3.1.9

**黄纬** celestial latitude

天体与黄道之间的黄经圈的弧长。从黄道起算，向北黄极方向为正。

[GJB 1028-1990 中 3.6]

### 3.1.10

**赤经** right ascension

过春分点的赤经圈为始圈，逆时针方向度量到天体赤经圈的天赤道弧长。

[GJB 1028-1990 中 3.7]

### 3.1.11

**赤纬** declination

天体到天赤道之间的赤经圈弧长。由天赤道起算，向北天极方向为正。

[GJB 1028-1990 中 3.8]

### 3.1.12

**大地经度** geodetic longitude

格林尼治平子午面与过该点的子午面的夹角。由格林尼治向东量度。

[GJB 1028-1990 中 3.9]

### 3.1.13

**大地纬度** geodetic latitude

过某点的参考椭球面的法线与赤道面的夹角。向北为正。

[GJB 1028-1990 中 3.10]

### 3.1.14

**地心经度** geocentric longitude

同大地经度。

### 3.1.15

**地心纬度** geocentric latitude

空间某点与地心的连线与赤道面的夹角。向北为正。

[GJB 1028-1990 中 3.12]

### 3.1.16

**方位角** azimuth angle

从某点的指北方向线起，顺时针方向至目标方向线的水平夹角。

[GJB 1028-1990 中 3.13]

### 3.1.17

**仰角** elevation angle

从一点到目标的方向线与水平面之间的夹角。目标在水平面以上的称为“仰角”，目标在水平面以下的称为“俯角”。

[GJB 1028-1990 中 3.14]

## 3.2 坐标系的基本定义

坐标系的基本定义见表 1。

表1 坐标系的基本定义

序号	术语	定义	符号	备注
1	坐标	为了确定空间一点在一定的参考系中的位置，按规定方法选取的有次序的一组数。	—	
2	坐标系	一一对应的确定空间点与其坐标（或向量与其分量）之间关系的参考系。	—	
3	坐标原点	在坐标系中所有坐标值均等于零的点。	$O$	
4	空间点的直角坐标	有顺序的三个数，它们分别等于从该点到所选取的三个相互垂直的平面的距离。	$x, y, z$ $(x, h, z)$ $(X, Y, Z)$	数 $x, y, z$ 是从所选的相互垂直的平面交点（坐标原点）引出的向径 $\vec{r}$ 在这些平面交线上的投影。
5	空间点的曲线坐标	有顺序的三个数 $(r_1, r_2, r_3)$ ，单值地确定空间点的位置。	$r_1, r_2, r_3$	数 $r_1, r_2, r_3$ 是直角坐标 $x, y, z$ 的函数： $r_1 = r_1(x, y, z)$ $r_2 = r_2(x, y, z)$ $r_3 = r_3(x, y, z)$
6	坐标面	某一坐标值为常数的点的集合。	$(x), (y), (z)$ $(x), (h), (z)$ $(X), (Y), (Z)$ $(r_1), (r_2), (r_3)$	

表 1 (续)

序号	术语	定义	符号	备注
7	坐标线	两个坐标值保持常数的点的轨迹。	$[x], [y], [z]$ $[\mathbf{x}], [\mathbf{h}], [\mathbf{z}]$ $[X], [Y], [Z]$ $[\mathbf{r}_1], [\mathbf{r}_2], [\mathbf{r}_3]$	例如: $[r_i]$ 表示 $r_j =$ 常数, $i, j = 1, 2, 3,$ $j \neq i$
8	坐标轴	由坐标线上某点引出的坐标线的切线, 其方向与相应坐标增大的方向一致。	—	空间中每一点可作三个坐标轴。
9	主面 (主平面)	通过坐标原点的某一选定的坐标面(平面)。	—	每个坐标系只能选取一个主面。
10	坐标单位向量	沿坐标轴方向的单位向量。	—	
11	参考线	在主面上并通过坐标原点的线。	—	
12	正交坐标系	空间每一点的三个坐标轴相互垂直的坐标系。	—	
13	右手坐标系	正交坐标系坐标轴顺序按右手法则确定的坐标系。	—	
14	惯性坐标系	坐标轴的指向在惯性空间中保持不变的坐标系。	—	
15	相对坐标系	坐标轴的指向在惯性空间中是变化的坐标系。	—	
注: “—” 表示不做规定。				

#### 4 一般要求

##### 4.1 直角坐标系的表示

直角坐标系以四个字符表示, 依次代表坐标原点、第一、第二、第三坐标轴。本标准规定的坐标系中, 第一、第二、第三坐标轴满足右手法则。

##### 4.2 坐标系序数词的使用

本标准规定了坐标系的名称, 其中带有序数词的坐标系, 如地心(第一)赤道坐标系, 地心(第二)赤道坐标系等, 在使用中只出现其中之一时, 可以略去序数词。在出现两个及两个以上时, 则应加上相应的序数词, 便于区别。

##### 4.3 坐标轴字母及其下标的选用

本标准在定义坐标轴时选用的字母及其下标, 作为优选的范围, 使用者可以根据具体情况灵活选用。

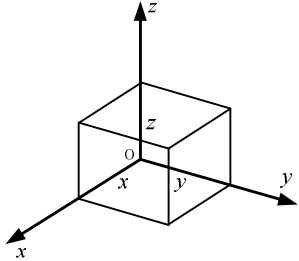
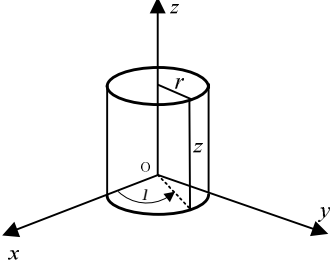
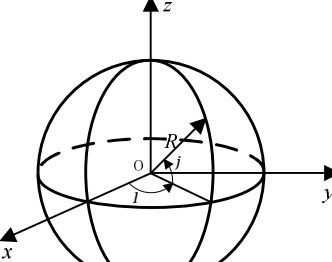
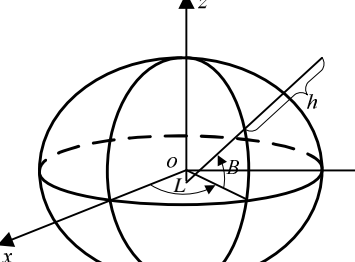
##### 4.4 春分点、赤道的使用

在本标准定义的坐标系中, 春分点、赤道的含义使用者可以自行选择某历元时刻的平春分点、真春分点、平赤道、真赤道等, 但在使用时应作注明。

##### 4.5 坐标系的形式

坐标系的形式见表 2。

表2 坐标系的形式

序号	坐标系	坐标符号	坐标面	坐标域	略图
1	直角坐标系	$x, y, z$	三个相互垂直的平面 $x = \text{常数}$ ; $y = \text{常数}$ ; $z = \text{常数}$ 。	$-\infty < x < +\infty$ $-\infty < y < +\infty$ $-\infty < z < +\infty$	
2	圆柱坐标系	$r, l, z$	$r = \text{常数}$ —以 $oz$ 为轴的圆柱面; $l = \text{常数}$ —通过 $oz$ 轴的半平面; $z = \text{常数}$ —垂直 $oz$ 轴的平面。	$0 \leq r < +\infty$ $0^\circ \leq l < 360^\circ$ 或 $-180^\circ < l \leq 180^\circ$ $-\infty < z < +\infty$	
3	球面坐标系	$R, l, j$	$R = \text{常数}$ —球心在坐标原点的球面; $l = \text{常数}$ —通过 $oz$ 轴的半平面; $j = \text{常数}$ —顶点在坐标原点, $oz$ 轴为轴的圆锥面。	$0 \leq R < +\infty$ $0^\circ \leq l < 360^\circ$ 或 $-180^\circ < l \leq 180^\circ$ $-90^\circ \leq j \leq 90^\circ$	
4	大地坐标系	$h, L, B$	$h = \text{常数}$ —与参考椭球面等距离的面; $L = \text{常数}$ —通过参考椭球短轴的半平面; $B = \text{常数}$ —是一个锥面, 其轴与参考椭球面的短轴相重合, 且这个锥面垂直于椭球面。	$-N \leq h < +\infty$ 式中: $N$ —卯西圈曲率半径 $-90^\circ \leq B \leq 90^\circ$ $0^\circ \leq L < 360^\circ$ 或 $-180^\circ < L \leq 180^\circ$	

## 4.6 坐标之间的变换形式

## 4.6.1 直角坐标系之间的变换

## 4.6.1.1 两个直角坐标系之间的变换

两个直角坐标系之间的变换由平移（坐标原点的移动）和转动（坐标轴绕原点的转动）组成。

平移公式见公式 (1) :

$$\begin{cases} x' = x - x_0 \\ y' = y - y_0 \\ z' = z - z_0 \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$x, y, z$ —旧坐标;  
 $x', y', z'$ —新坐标;  
 $x_0, y_0, z_0$ —新坐标原点  $O'$  在旧坐标系中坐标。

转动公式见公式 (2):

$$\begin{cases} x' = l_1x + m_1y + n_1z \\ y' = l_2x + m_2y + n_2z \\ z' = l_3x + m_3y + n_3z \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$l_i, m_i, n_i$  ( $i=1,2,3$ )—新坐标轴  $O'x', O'y', O'z'$  相对旧坐标系的方向余弦。  
 设方向余弦组成的系数矩阵为  $L$  (称为转动矩阵):

$$L = \begin{bmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

则新旧坐标系之间的变换公式见公式 (4):

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = L \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

#### 4.6.1.2 坐标系的转动

设绕坐标系第  $i$  个坐标轴 ( $i=1,2,3$ ) 按右手法则转动  $a$  角的转动矩阵为  $M_i(a)$ ,  $M_i(a)$  的表示形式见公式 (5) ~ (7) :

$$M_1(a) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a & \sin a \\ 0 & -\sin a & \cos a \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

$$M_2(a) = \begin{bmatrix} \cos a & 0 & -\sin a \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin a & 0 & \cos a \end{bmatrix} \dots\dots\dots(6)$$

$$M_3(a) = \begin{bmatrix} \cos a & \sin a & 0 \\ -\sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(7)$$

一般坐标系的转动, 可以用三个欧拉角的顺序旋转来表示。  
 三组常用的欧拉角见表 3。

表3 三组常用的欧拉角

欧拉角组	欧拉角		
	第一次转动	第二次转动	第三次转动
第一组 (图 1)	偏航角 $y_I$ — 节线 $ON$ 和 $ox$ 轴的夹角 (绕 $oy$ 轴转动)。	俯仰角 $j_I$ — 节线 $ON$ 和 $ox'$ 轴的夹角 (绕第一次转动后形成的 $oz_1$ 轴转动)。	滚动角 $g_I$ — $oy'$ 轴和 $oy_1$ 轴的夹角 (绕第二次转动后形成的 $ox'$ 轴转动)。
第二组 (图 2)	俯仰角 $j_{II}$ — 节线 $ON$ 和 $ox$ 轴的夹角 (绕 $oz$ 轴转动)。	偏航角 $y_{II}$ — 节线 $ON$ 和 $ox'$ 轴的夹角 (绕第一次转动后形成的 $oy_1$ 轴转动)。	滚动角 $g_{II}$ — $oy'$ 轴和 $oy_1$ 轴的夹角 (绕第二次转动后形成的 $ox'$ 轴转动)。
第三组 (图 3)	滚动角 $g_{III}$ — 节线 $ON$ 和 $oy$ 轴的夹角 (绕 $ox$ 轴转动)。	俯仰角 $j_{III}$ — 节线 $ON$ 和 $oy'$ 轴的夹角 (绕第一次转动后形成的 $oz_1$ 轴转动)。	偏航角 $y_{III}$ — $ox'$ 轴和 $ox_1$ 轴的夹角 (绕第二次转动后形成的 $oy'$ 轴转动)。

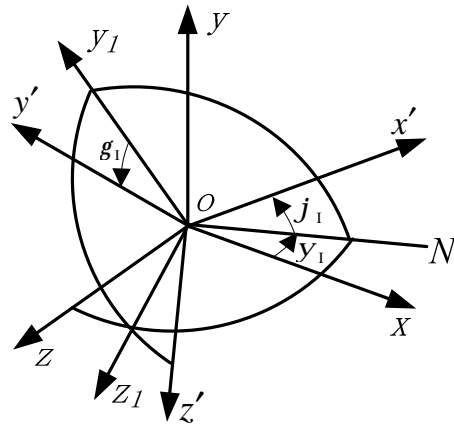


图1 坐标系的转动 (第一组欧拉角)

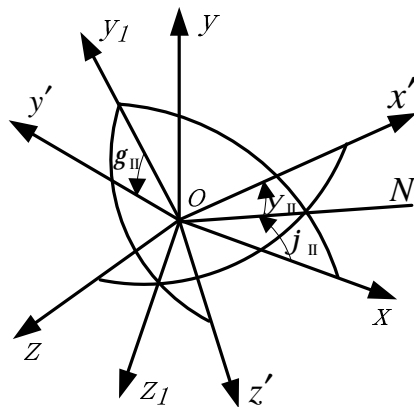


图2 坐标系的转动（第二组欧拉角）

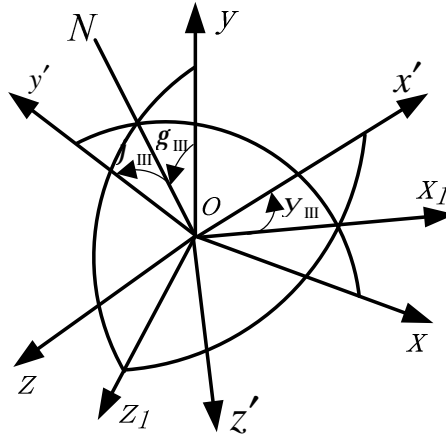


图3 坐标系的转动（第三组欧拉角）

第一组的转动矩阵见公式（8）：

$$L = M_1(g_I)M_3(j_I)M_2(y_I)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos g_I & \sin g_I \\ 0 & -\sin g_I & \cos g_I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos j_I & \sin j_I & 0 \\ -\sin j_I & \cos j_I & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos y_I & 0 & -\sin y_I \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin y_I & 0 & \cos y_I \end{bmatrix} \dots\dots\dots(8)$$

第二组的转动矩阵见公式（9）：

$$L = M_1(g_{II})M_2(y_{II})M_3(j_{II})$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos g_{II} & \sin g_{II} \\ 0 & -\sin g_{II} & \cos g_{II} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos y_{II} & 0 & -\sin y_{II} \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin y_{II} & 0 & \cos y_{II} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos j_{II} & \sin j_{II} & 0 \\ -\sin j_{II} & \cos j_{II} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(9)$$

第三组的转动矩阵见公式（10）：

$$L = M_2(y_{III})M_3(j_{III})M_1(g_{III})$$

$$= \begin{bmatrix} \cos y_{III} & 0 & -\sin y_{III} \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin y_{III} & 0 & \cos y_{III} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos j_{III} & \sin j_{III} & 0 \\ -\sin j_{III} & \cos j_{III} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos g_{III} & \sin g_{III} \\ 0 & -\sin g_{III} & \cos g_{III} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(10)$$

4.6.1.3 绕过坐标原点固定轴转动时，两个直角坐标系之间的变换关系

固定轴方向的单位矢量为  $\vec{OE}$ ， $\vec{OE}$  在旧坐标系的分量为  $E_x$ 、 $E_y$ 、 $E_z$ ，转动后产生的新坐标系为  $x'$ 、 $y'$ 、 $z'$ ，转动角为  $j$ ，则转动矩阵为：

$$L = \begin{bmatrix} E_x^2 + (1 - E_x^2) \cos j & (1 - \cos j) E_x E_y + E_z \sin j & (1 - \cos j) E_x E_z - E_y \sin j \\ (1 - \cos j) E_x E_y - E_z \sin j & E_y^2 + (1 - E_y^2) \cos j & (1 - \cos j) E_y E_z + E_x \sin j \\ (1 - \cos j) E_z E_x + E_y \sin j & (1 - \cos j) E_y E_z - E_x \sin j & E_z^2 + (1 - E_z^2) \cos j \end{bmatrix} \dots\dots\dots(11)$$

以上转动矩阵也可按四元数形式写出：

$$L = \begin{bmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2(q_1 q_2 + q_0 q_3) & 2(q_1 q_3 - q_0 q_2) \\ 2(q_1 q_2 - q_0 q_3) & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2(q_2 q_3 + q_0 q_1) \\ 2(q_1 q_3 + q_0 q_2) & 2(q_2 q_3 - q_0 q_1) & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(12)$$

式中：

$$q_0 = \cos \frac{j}{2}, \quad q_1 = E_x \sin \frac{j}{2}, \quad q_2 = E_y \sin \frac{j}{2}, \quad q_3 = E_z \sin \frac{j}{2}。$$

#### 4.6.2 直角坐标系、圆柱坐标系和球面坐标系之间的关系

直角坐标系、圆柱坐标系和球面坐标系之间的关系见表 4。

表4 直角坐标系、圆柱坐标系和球面坐标系之间的关系

坐标系	直角坐标系 ( <i>x, y, z</i> )	圆柱坐标系 ( <i>r, l, z</i> )	球面坐标系 ( <i>R, l, j</i> )
直角坐标系 ( <i>x, y, z</i> )	<i>x</i> = <i>x</i> <i>y</i> = <i>y</i> <i>z</i> = <i>z</i>	<i>x</i> = <i>r</i> cos <i>l</i> <i>y</i> = <i>r</i> sin <i>l</i> <i>z</i> = <i>z</i>	<i>x</i> = <i>R</i> cos <i>l</i> cos <i>j</i> <i>y</i> = <i>R</i> sin <i>l</i> cos <i>j</i> <i>z</i> = <i>R</i> sin <i>j</i>
圆柱坐标系 ( <i>r, l, z</i> )	<i>r</i> = $\sqrt{x^2 + y^2}$ <i>l</i> = arctg $\frac{y}{x}$ (按坐标域取值) <i>z</i> = <i>z</i>	<i>r</i> = <i>r</i> <i>l</i> = <i>l</i> <i>z</i> = <i>z</i>	<i>r</i> = <i>R</i> cos <i>j</i> <i>l</i> = <i>l</i> <i>z</i> = <i>R</i> sin <i>j</i>
球面坐标系 ( <i>R, l, j</i> )	<i>R</i> = $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ <i>l</i> = arctg $\frac{y}{x}$ (按坐标域取值) <i>j</i> = arctg $\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}$	<i>R</i> = $\sqrt{r^2 + z^2}$ <i>l</i> = <i>l</i> <i>j</i> = arctg $\frac{z}{r}$	<i>R</i> = <i>R</i> <i>l</i> = <i>l</i> <i>j</i> = <i>j</i>

## 5 航天产品常用坐标系

### 5.1 总则

#### 5.1.1 航天产品常用坐标系的分类：

航天产品常用坐标系分如下三类：

- 1) 第一类坐标系常用于航天器、运载火箭和弹道导弹；
- 2) 第二类坐标系常用于防空导弹；
- 3) 第三类坐标系常用于飞航导弹。

### 5.1.2 第一类坐标系

第一类坐标系主要有：

- 1) 日心黄道坐标系  $O_sXYZ$ ；
- 2) 日心球面黄道坐标系  $(M, b, q)$ ；
- 3) J2000.0 月心坐标系  $O_mX_2Y_2Z_2$ ；
- 4) 月心赤道坐标系  $O_mX_3Y_3Z_3$ ；
- 5) 月固平地球/极轴坐标系 (IAU/IAG2000)  $O_mX_4Y_4Z_4$ ；
- 6) 月固惯量主轴坐标系  $O_mX_5Y_5Z_5$ ；
- 7) 地心黄道坐标系  $O_eXYZ$ ；
- 8) 地心 (第一) 赤道坐标系  $O_eX_1Y_1Z_1$ ；
- 9) 地心 (第二) 赤道坐标系  $O_eX_2Y_2Z_2$ ；
- 10) 地心 (第三) 赤道坐标系  $O_eX_3Y_3Z_3$ ；
- 11) 地心 (第四) 赤道坐标系  $O_eX_4Y_4Z_4$ ；
- 12) 地心球面坐标系  $(r, a, d)$ ；
- 13) 地心球面固联坐标系  $(r, l, f)$ ；
- 14) 地心 (第一) 轨道坐标系  $o_e x_1 y_1 z_1$ ；
- 15) 地心 (第二) 轨道坐标系  $o_e x_2 y_2 z_2$ ；
- 16) 地心 (第三) 轨道坐标系  $o_e x_3 y_3 z_3$ ；
- 17) 发射坐标系  $o_0 xyz$ ；
- 18) 发射惯性坐标系  $o_0 x_g y_g z_g$ ；
- 19) 水平定向坐标系  $o_0 x_s y_s z_s$ ；
- 20) 球面水平定向坐标系  $(S, A, E)$ ；
- 21) 卫星 (返回) 坐标系  $o_0 x_{d2} y_{d2} z_{d2}$ ；
- 22) 大地坐标系  $(h, L, B)$ ；
- 23) 逃逸飞行器发射坐标系  $O_0 XYZ$ ；
- 24) 半速度坐标系  $oxyz$ ；
- 25) 目标固连坐标系  $o_t x_t y_t z_t$ ；
- 26) 飞行器体坐标系  $ox_1 y_1 z_1$ ；
- 27) 速度坐标系  $ox_v y_v z_v$ ；
- 28) 直角伴随自然坐标系  $ox_1 h_1 z_1$ ；
- 29) 惯性平台坐标系  $ox_p y_p z_p$ ；
- 30) 飞行器球面坐标系  $(R, a_1, b_1)$ ；
- 31) 卫星轨道坐标系  $oxhz$ ；
- 32) 卫星直角坐标系  $ox_{s0} y_{s0} z_{s0}$ ；

- 33) 逃逸飞行器体坐标系  $O_b X_b Y_b Z_b$  ;
- 34) 逃逸飞行器质心坐标系  $O X_c Y_c Z_c$  ;
- 35) 逃逸飞行器速度坐标系  $O X_v Y_v Z_v$  ;
- 36) 载人运载火箭箭体坐标系  $O_m x_m y_m z_m$  ;
- 37) 船箭对接坐标系  $O_d x_d y_d z_d$  ;
- 38) 载体坐标系  $o_s x_s y_s z_s$  。

### 5.1.3 第二类坐标系

第二类坐标系主要有：

- 1) 地面（射击）坐标系  $o_0 x_d y_d z_d$  ;
- 2) 弹体坐标系  $o x_1 y_1 z_1$  ;
- 3) 弹道（弹道固连）坐标系  $o x_2 y_2 z_2$  ;
- 4) 速度坐标系  $o x_v y_v z_v$  ;
- 5) 执行（弹体执行）坐标系  $o x_{zx} y_{zx} z_{zx}$  ;
- 6) 半弹体坐标系  $o x_b y_b z_b$  ;
- 7) 导弹视线坐标系  $o x_s y_s z_s$  ;
- 8) 导弹测量坐标系  $o_0 x_{mc} y_{mc} z_{mc}$  ;
- 9) 目标测量坐标系  $o_0 x_{tc} y_{tc} z_{tc}$  ;
- 10) 目标航迹坐标系  $o_t x_{tz} y_{tz} z_{tz}$  ;
- 11) 发射坐标系  $o x_f y_f z_f$  ;
- 12) 载体坐标系  $o_s x_s y_s z_s$  ;
- 13) 弹上测量坐标系  $o x_{si} y_{si} z_{si}$  ;
- 14) 地面测量坐标系  $o x_{sd} y_{sd} z_{sd}$  ;
- 15) 地心球面固联坐标系  $(r, I, f)$  ;
- 16) 大地坐标系  $(h, L, B)$  ;
- 17) 惯性平台坐标系  $o x_p y_p z_p$  ;
- 18) 地球坐标系  $o_e x_e y_e z_e$  ;
- 19) 地理坐标系  $o_g x_g y_g z_g$  ;
- 20) 目标固连坐标系  $o_t x_t y_t z_t$  。

### 5.1.4 第三类坐标系：

第三类坐标系主要有：

- 1) 地球坐标系  $o_e x_e y_e z_e$  ;
- 2) 地理坐标系  $o_g x_g y_g z_g$  ;
- 3) 发射坐标系  $o_0 x_0 y_0 z_0$  ;
- 4) 发射惯性坐标系  $o_{i0} x_{i0} y_{i0} z_{i0}$  ;

- 5) 目标固连坐标系  $o_t x_t y_t z_t$ ;
- 6) 弹体坐标系  $o x_1 y_1 z_1$ ;
- 7) 载体坐标系  $o_s x_s y_s z_s$ ;
- 8) 速度坐标系  $o x_v y_v z_v$ ;
- 9) 弹道坐标系  $o x y z$ ;
- 10) 相对气流坐标系  $o x_r y_r z_r$ ;
- 11) 指北方位平台坐标系  $o_p x_p y_p z_p$ ;
- 12) 大地坐标系  $(h, L, B)$ ;
- 13) 导弹视线坐标系  $o x_s y_s z_s$ 。

### 5.1.5 坐标系的符号

在使用常用坐标系时,坐标系的符号一般按本标准给出的符号取用。但在处理某一具体问题时,下标可省略,但应加以说明。对变换公式中的参数符号原则上采用。

## 5.2 第一类坐标系

### 5.2.1 原点在日心的坐标系

原点在日心的坐标系见表 5。

### 5.2.2 原点在月心的坐标系

原点在月心的坐标系见表 6。

### 5.2.3 原点在地心的坐标系

原点在地心的坐标系见表 7。

### 5.2.4 原点在地球表面的坐标系

原点在地球表面的坐标系见表 8。

### 5.2.5 原点在飞行器上的坐标系

原点在飞行器上的坐标系见表 9。

### 5.2.6 载体坐标系

载体坐标系见表 10。

### 5.2.7 第一类坐标系之间的变换公式

第一类坐标系之间的变换公式见表 11。

## 5.3 第二类坐标系

5.3.1 第二类坐标系均为右手直角坐标系,见表 12。

5.3.2 第二类坐标系之间的变换公式见表 13。

## 5.4 第三类坐标系

5.4.1 第三类坐标系均为右手直角坐标系,见表 14。

5.4.2 第三类坐标系之间的变换公式见表 15。

表5 原点在日心的坐标系

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
1	日心黄道坐标系 $O_sXYZ$	日心	$O_sX$ —在黄道平面内, 指向春分点; $O_sZ$ —垂直于黄道平面, 方向与地球公转的角速度方向一致; $O_sXYZ$ 为右手直角坐标系。	
2	日心球面黄道坐标系 ( $M, b, q$ )	日心	$M$ —日心到空间点 $N$ 的距离; $b$ —黄经; $q$ —黄纬。	

表6 原点在月心的坐标系

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
1	J2000.0 月心坐标系 $O_mX_2Y_2Z_2$	月心	三坐标轴与J2000.0地心平赤道坐标系三轴平行。	(略)
2	月心赤道坐标系 $O_mX_3Y_3Z_3$	月心	$O_mZ_3$ 轴—与月球自转轴平行, 指向北方; $O_mX_3$ 轴—在月球赤道面内, 平行于月球赤道平面与地球J2000.0平赤道平面交线, 指向月球轨道升交点方向; $O_mX_3Y_3Z_3$ 为右手直角坐标系。	
3	月固平地球/极轴坐标系 (IAU/IAG2000) $O_mX_4Y_4Z_4$	月心	$O_mZ_4$ 轴—与月球自转轴平行, 指向北方; $O_mX_4$ 轴—在月球赤道面内, 指向平均地球方向; $O_mX_4Y_4Z_4$ 为右手直角坐标系。	

表 6 (续)

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
4	月固惯量主轴坐标系 $O_m X_5 Y_5 Z_5$	月心	$O_m Z_5$ 轴—与月球惯量主轴 (自转轴) 平行, 指向北方; $O_m X_5$ 轴—在月球赤道面内, 与指向地球中心附近的另一月球惯量主轴平行; $O_m X_5 Y_5 Z_5$ 为右手直角坐标系。	

表7 原点在地心的坐标系

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
1	地心黄道坐标系 $O_e XYZ$	地心	$O_e X$ —在黄道平面内, 指向春分点; $O_e Z$ —垂直于黄道平面, 与地球公转的角速度矢量方向一致; $O_e XYZ$ 为右手直角坐标系。	
2	地心 (第一) 赤道坐标系 $O_e X_1 Y_1 Z_1$	地心	$O_e X_1$ —在赤道平面内, 指向春分点; $O_e Z_1$ —垂直于赤道平面, 与地球自转角速度矢量方向一致; $O_e X_1 Y_1 Z_1$ 为右手直角坐标系。 选用 J2000.0 平赤道面和 J2000.0 平春分点时, 称 J2000.0 地心平赤道坐标系。	
3	地心 (第二) 赤道坐标系 $O_e X_2 Y_2 Z_2$	地心	$O_e X_2$ —在赤道平面内, 指向特定时刻的格林尼治子午线; $O_e Z_2$ —垂直于赤道平面, 与地球自转角速度矢量方向一致; $O_e X_2 Y_2 Z_2$ 为右手直角坐标系。	

表 7 (续)

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
4	地心 (第三) 赤道坐标系 $O_e X_3 Y_3 Z_3$	地心	$O_e X_3$ —在赤道平面内, 指向飞行器轨道升交点; $O_e Z_3$ —垂直于赤道平面, 与地球自转角速度矢量方向一致; $O_e X_3 Y_3 Z_3$ 为右手直角坐标系。	
5	地心 (第四) 赤道坐标系 $O_e X_4 Y_4 Z_4$	地心	$O_e X_4$ —在赤道平面内, 指向格林尼治平子午线; $O_e Z_4$ —垂直于赤道平面, 与地球自转角速度矢量方向一致; $O_e X_4 Y_4 Z_4$ 为右手直角坐标系。在大地测量中习惯称为地心直角坐标系。	
6	地心球面坐标系 ( $r, a, d$ )	地心	$r$ —地心到空间点 $N$ 的距离; $a$ —赤经; $d$ —赤纬。	
7	地心球面固连坐标系 ( $r, l, j$ )	地心	$r$ —地心到空间点 $N$ 的距离; $l$ —地心经度; $j$ —地心纬度。	
8	地心 (第一) 轨道坐标系 $O_e x_1 y_1 z_1$	地心	$O_e x_1$ —在卫星轨道平面内, 指向升交点方向; $O_e z_1$ —指向卫星轨道平面正法向方向; $O_e x_1 y_1 z_1$ 为右手直角坐标系。	

表 7 (续)

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
9	地心 (第二) 轨道坐标系 $O_e x_2 y_2 z_2$	地心	$O_e x_2$ —在卫星轨道平面内, 指向近地点方向; $O_e z_2$ —指向卫星轨道平面正法向方向; $O_e x_2 y_2 z_2$ 为右手直角坐标系。	
10	地心 (第三) 轨道坐标系 $O_e x_3 y_3 z_3$	地心	$O_e x_3$ —在卫星轨道平面内, 指向卫星; $O_e z_3$ —指向卫星轨道平面正法向方向; $O_e x_3 y_3 z_3$ 为右手直角坐标系。	

表8 原点在地球表面的坐标系

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
1	发射坐标系 $O_0 xyz$	发射点	$O_0 x$ —在发射点水平面内, 指向发射瞄准方向; $O_0 y$ —沿发射点的铅垂线向上; $O_0 xyz$ 为右手直角坐标系。	
2	发射惯性坐标系 $O_0 x_g y_g z_g$	与发射瞬时的发射点重合	与发射瞬时的发射坐标系 $O_0 xyz$ 重合。	(略)

表 8 (续)

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
3	水平定向坐标系 $o_0x_s y_s z_s$	地球表面	$o_0x_s$ —在过坐标原点的水平面内, 指向正东; $o_0y_s$ —在过坐标原点的水平面内, 沿子午线的切线方向, 指向正北; $o_0x_s y_s z_s$ 为右手直角坐标系。 又称测站坐标系。	
4	球面水平定向坐标系 ( $S, A, E$ )	地球表面	$S$ —坐标原点到空间点 $N$ 的距离; $A$ —方位角; $E$ —仰角。 又称为测站球面坐标系、地面球面坐标系、地平球面坐标系。	
5	卫星(返回)坐标系 $o_0x_{d2} y_{d2} z_{d2}$	卫星返回时刻所在位置的铅垂线与地面的交点	$o_0y_{d2}$ —沿铅垂线, 指向上; $o_0x_{d2}$ —在轨道平面内, 垂直 $o_0y_{d2}$ 轴, 指向理论落地点; $o_0x_{d2} y_{d2} z_{d2}$ 为右手直角坐标系。	
6	大地坐标系 ( $h, L, B$ )	格林尼治子午线与地球赤道的交点	$h$ —从参考椭球表面量起的法向距离(高度); $L$ —大地经度; $B$ —大地纬度。	

表 8 (续)

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
7	逃逸飞行器发射坐标系 $O_0XYZ$	发 射 点	$O_0X$ —定义同发射坐标系 $o_0x$ ; $O_0Y$ —定义同发射坐标系 $o_0y$ ; $O_0XYZ$ 为右手直角坐标系。 由于逃逸飞行器飞行时间较短,一般将发射坐标系视为惯性坐标系。	(略)

表9 原点在飞行器上的坐标系

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
1	半速度坐标系 $oxyz$	质心	$ox$ —沿导弹的速度方向; $oy$ —在过 $ox$ 轴的铅垂平面内, 垂直于 $ox$ 轴, 其指向按水平发射状态时, 指向上为正; $oxyz$ 为右手直角坐标系。	
2	目标固连坐标系 $o_i x_i y_i z_i$	目标上某特征点	$o_i x_i$ —在坐标原点的水平面内, 其方向可按研究问题的需要来定; $o_i y_i$ —沿过坐标原点的铅垂线, 指向上; $o_i x_i y_i z_i$ 为右手直角坐标系。	(略)
3	飞行器体坐标系 $ox_1 y_1 z_1$ (弹体坐标系、箭体坐标系、星体坐标系)	质心	$ox_1$ —沿飞行器纵轴, 指向头部; $oy_1$ —在飞行器的纵对称面内, 垂直 $ox_1$ 轴, 指向上 (即第III象限线); $ox_1 y_1 z_1$ 为右手直角坐标系。	
4	速度坐标系 $ox_v y_v z_v$	质心	$ox_v$ —沿飞行器的速度方向; $oy_v$ —在飞行器的纵对称面内, 垂直 $ox_v$ 轴, 当速度矢量为水平时, 指向上; $ox_v y_v z_v$ 为右手直角坐标系。	

表 9 (续)

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
5	直角伴随自然坐标系 (自然坐标系) $ox_1h_1z_1$	质心	$ox_1$ —在弹道的密切平面内, 沿速度方向; $oh_1$ —在弹道的密切平面内, 沿主法线方向; $oz_1$ —沿弹道的次法线方向。	(略)
6	惯性平台坐标系 $ox_p y_p z_p$	平台中心	各坐标轴与发射惯性坐标系的对应坐标轴平行。	(略)
7	飞行器球面坐标系 (弹体球面坐标系、箭体球面坐标系) $(R, a_1, b_1)$	质心	$R$ —坐标原点到空间点 $N$ 的距离; $a_1$ —坐标原点到空间点 $N$ 的向径在垂直纵轴平面上的投影与飞行器坐标系 $oy_1$ 轴的夹角, 逆时针为正; $b_1$ —坐标原点到空间点 $N$ 的向径与 $ox_1$ 轴的夹角。	
8	卫星轨道坐标系 $oxhz$	质心	$oz$ —在卫星轨道平面内, 指向卫星到地心的方向; $ox$ —在卫星轨道平面内, 垂直 $oz$ 轴, 指向卫星运动方向; $oxhz$ 为右手直角坐标系。	

表 9 (续)

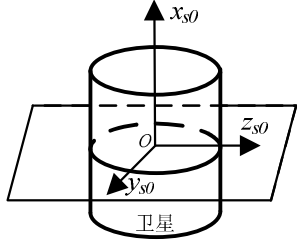
序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
9	卫星直角坐标系 $Ox_{s0}y_{s0}z_{s0}$	质心	$Ox_{s0}$ —沿卫星的纵轴, 在发射瞬时指向上; $Oz_{s0}$ —在垂直纵轴的平面内, 在发射瞬时指向射向; $Ox_{s0}y_{s0}z_{s0}$ 为右手直角坐标系。	
10	逃逸飞行器体坐标系 $O_bX_bY_bZ_b$	逃逸飞行器初始逃逸时质心横截面与逃逸飞行器纵轴的交点	$O_bX_b$ —沿逃逸飞行器纵轴, 指向头部; $O_bY_b$ —在逃逸飞行器纵向对称面内, 垂直 $O_bX_b$ 轴, 指向载人运载火箭III象限线; $O_bX_bY_bZ_b$ 为右手直角坐标系, 与逃逸飞行器固连。	见图 4

表 9 (续)

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
11	逃逸飞行器质心坐标系 $Ox_c Y_c Z_c$	逃逸飞行器质心	各坐标轴与逃逸飞行器体坐标系的对应坐标轴平行。	见图 5
12	逃逸飞行器速度坐标系 $Ox_v Y_v Z_v$	逃逸飞行器质心	$Ox_v$ —沿逃逸飞行器的速度方向(空速); $Oy_v$ —平行于逃逸飞行器纵向对称面,垂直 $Ox_v$ 轴,当逃逸飞行器速度矢量为水平时,指向上; $Ox_v Y_v Z_v$ 为右手直角坐标系。	见图 6
13	载人运载火箭箭体坐标系 $O_m x_m y_m z_m$	火箭联体质心	$O_m x_m$ —沿载人运载火箭纵轴,指向载人运载火箭理论尖点; $O_m y_m$ —在载人运载火箭纵向对称面内,指向III象限线; $O_m x_m y_m z_m$ 为右手直角坐标系。	见图 7
14	船箭对接坐标系 $O_d x_d y_d z_d$	飞船与运载火箭对接框几何中心	$O_d x_d$ —垂直于载人运载火箭与飞船对接面,指向飞船; $O_d y_d$ —在对接面内,指向载人运载火箭的III象限线; $O_d x_d y_d z_d$ 为右手直角坐标系。	见图 8

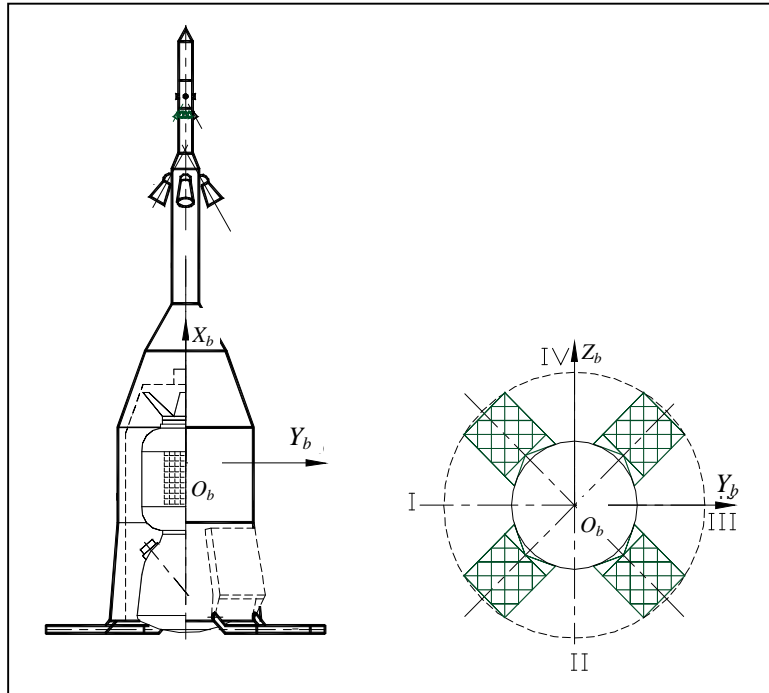


图4 逃逸飞行器体坐标系  $O_b X_b Y_b Z_b$

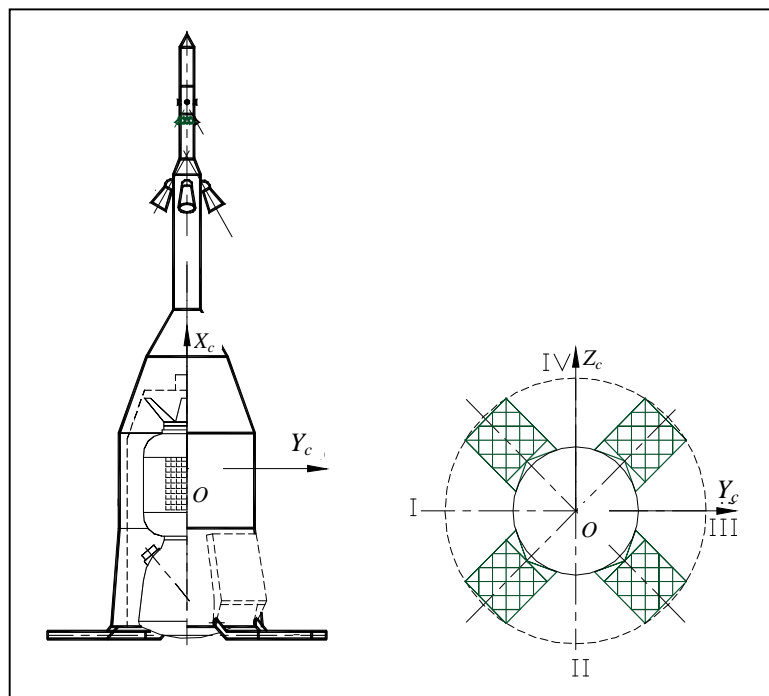


图5 逃逸飞行器质心坐标系  $O X_c Y_c Z_c$

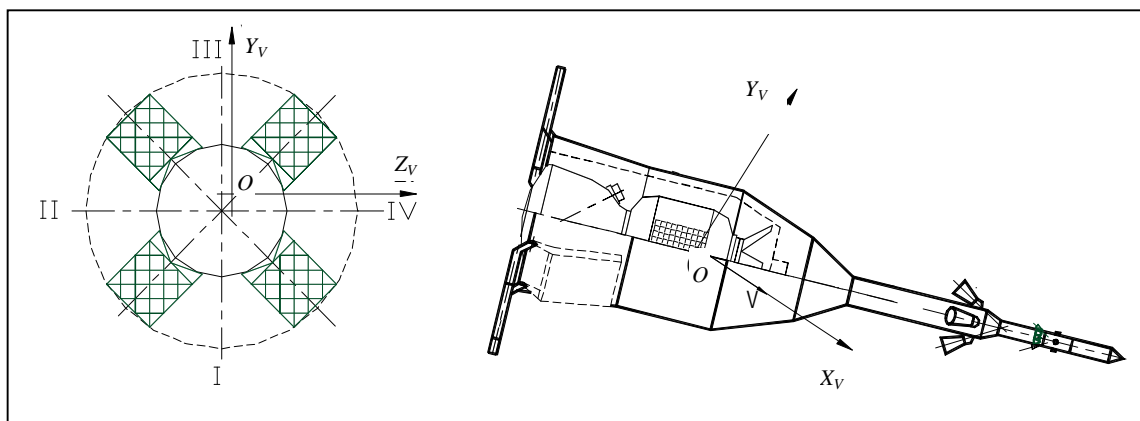


图6 逃逸飞行器速度坐标系  $Ox_v y_v z_v$

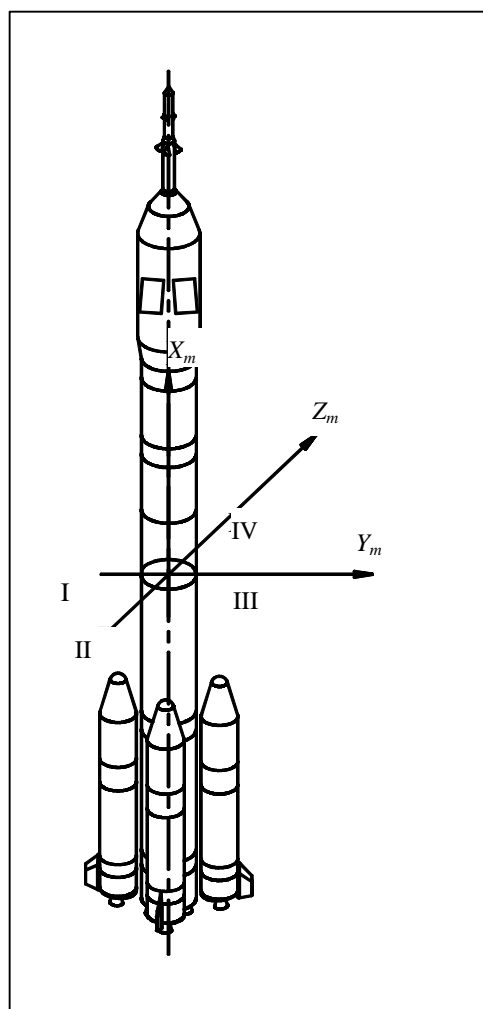


图7 载人运载火箭箭体坐标系  $Ox_m y_m z_m$

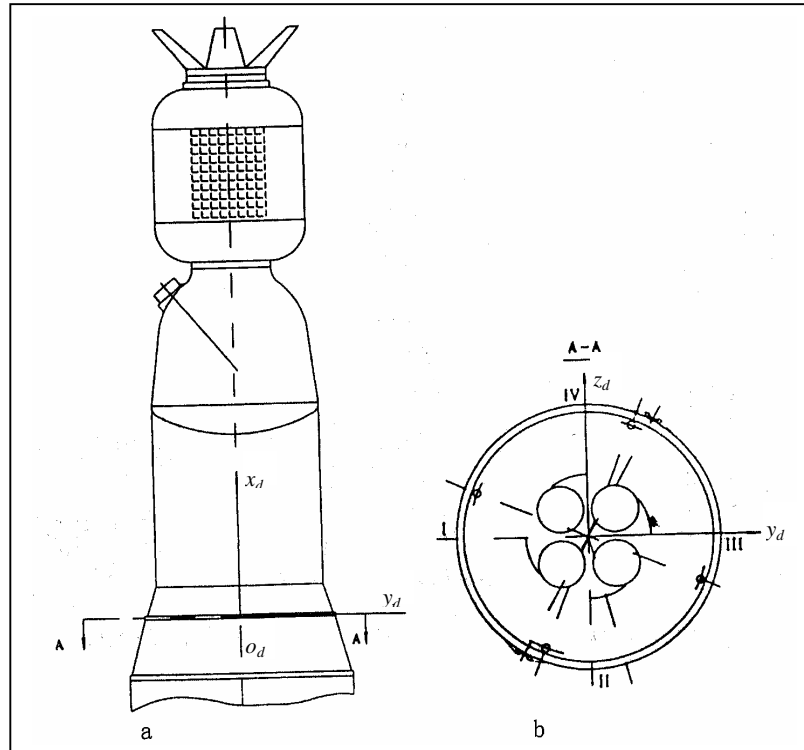


图8 船箭对接坐标系 $O_d x_d y_d z_d$

表10 载体坐标系

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
1	载体坐标系 $O_s x_s y_s z_s$	载体 质心	$O_s x_s$ —沿载体的纵轴, 指向载体的前部; $O_s y_s$ —垂直于 $O_s x_s$ 轴, 在载体的纵对称面内, 指向上; $O_s x_s y_s z_s$ 为右手直角坐标系。	

表11 第一类坐标系之间的变换公式

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
1	日心黄道坐标系 $O_sXYZ$	日心球面黄道坐标系 $(M, b, q)$	$M = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ $b = \arctg \frac{Y}{X} \text{ (按坐标域取值)}$ $q = \arctg \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$
		地心黄道坐标系 $O_eXYZ$	$X_e = X_s - X_{\oplus}$ $Y_e = Y_s - Y_{\oplus}$ $Z_e = Z_s$ <p>式中: <math>X_s, Y_s, Z_s</math>—日心黄道坐标系坐标;  <math>X_e, Y_e, Z_e</math>—地心黄道坐标系坐标;  <math>X_{\oplus}, Y_{\oplus}, 0</math>—地心在日心黄道坐标系中的坐标。</p>
2	地心(第一)赤道坐标系 $O_eX_1Y_1Z_1$	地心黄道坐标系 $O_eXYZ$	$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M_1(e) \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos e & \sin e \\ 0 & -\sin e & \cos e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>e</math>—黄道与赤道的夹角。</p>
		地心(第二)赤道坐标系 $O_eX_2Y_2Z_2$	$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = M_3(S_0) \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos S_0 & \sin S_0 & 0 \\ -\sin S_0 & \cos S_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>S_0</math>—特定时刻 <math>t_0</math> 的格林尼治恒星时角。</p>
		地心(第三)赤道坐标系 $O_eX_3Y_3Z_3$	$\begin{bmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{bmatrix} = M_3(\Omega) \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Omega & \sin \Omega & 0 \\ -\sin \Omega & \cos \Omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>\Omega</math>—飞行器轨道升交点赤经。</p>

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
3	地心 (第一) 赤道坐标系 $O_e X_1 Y_1 Z_1$	地心球面坐标系 ( $r, a, d$ )	$r = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}$ $a = \arctg \frac{Y_1}{X_1} \quad (\text{按坐标域取值})$ $d = \arctg \frac{Z_1}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2}} \quad (\text{按坐标域取值})$
		地心 (第二) 轨道坐标系 $O_e x_2 y_2 z_2$	$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = M_3(w)M_1(i)M_3(\Omega) \bullet \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} \cos w \cos \Omega - \sin w \cos i \sin \Omega & \cos w \sin \Omega + \sin w \cos i \cos \Omega & \sin w \sin i \\ -\sin w \cos \Omega - \cos w \cos i \sin \Omega & -\sin w \sin \Omega + \cos w \cos i \cos \Omega & \cos w \sin i \\ \sin i \sin \Omega & -\sin i \cos \Omega & \cos i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>w</math>—飞行器轨道近地点幅角;  <math>\Omega</math>—飞行器轨道升交点赤经;  <math>i</math>—飞行器轨道倾角。</p>
4	地心 (第二) 赤道坐标系 $O_e X_2 Y_2 Z_2$	地心 (第四) 赤道坐标系 $O_e X_4 Y_4 Z_4$	$\begin{bmatrix} X_4 \\ Y_4 \\ Z_4 \end{bmatrix} = M_3(w_e t) \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos w_e t & \sin w_e t & 0 \\ -\sin w_e t & \cos w_e t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>w_e</math>—地球自转角速度;  <math>t</math>—从特定时刻 <math>t_0</math> 起算的时间。</p>
5	地心 (第三) 赤道坐标系 $O_e X_3 Y_3 Z_3$	地心 (第一) 轨道坐标系 $O_e x_1 y_1 z_1$	$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = M_1(i) \begin{bmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos i & \sin i \\ 0 & -\sin i & \cos i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{bmatrix}$

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
6	地心 (第四) 赤道坐标系 $O_e X_4 Y_4 Z_4$	地心球面固连坐标系 $(r, l, f)$	$r = \sqrt{X_4^2 + Y_4^2 + Z_4^2}$ $l = \arctg \frac{Y_4}{X_4} \quad (\text{按坐标域取值})$ $f = \arctg \frac{Z_4}{\sqrt{X_4^2 + Y_4^2}} \quad (\text{按坐标域取值})$
		水平定向坐标系 $o_0 x_s y_s z_s$	$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} = M_1(90^\circ - B) M_3(90^\circ + l) \begin{bmatrix} X_4 - (N+h) \cos l \cos B \\ Y_4 - (N+h) \sin l \cos B \\ Z_4 - [N(1-e^2) + h] \sin B \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} -\sin l & \cos l & 0 \\ -\cos l \sin B & -\sin l \sin B & \cos B \\ \cos l \cos B & \sin l \cos B & \sin B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_4 - (N+h) \cos l \cos B \\ Y_4 - (N+h) \sin l \cos B \\ Z_4 - [N(1-e^2) + h] \sin B \end{bmatrix}$ $N = \frac{a_e}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$ $e^2 = \frac{a_e^2 - b_e^2}{a_e^2}$ <p>式中: <math>N</math>—卯酉圈 (过某点在参考椭球面上的投影又垂直于此点子午线的平面与参考椭球的交线) 曲率半径;  <math>a_e</math>—地球赤道半径;  <math>b_e</math>—地球极半径;  <math>e</math>—地球第一偏心率;  <math>l</math>—水平定向坐标系原点的大地经度;  <math>B</math>—水平定向坐标系原点的大地纬度;  <math>h</math>—水平定向坐标系原点的大地高。</p>

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
7	地心(第一)轨道坐标系 $o_e x_1 y_1 z_1$	地心(第二)轨道坐标系 $o_e x_2 y_2 z_2$	$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = M_3(w) \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos w & \sin w & 0 \\ -\sin w & \cos w & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>w</math>—飞行器轨道的近地点幅角。</p>
		地心(第三)轨道坐标系 $o_e x_3 y_3 z_3$	$\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix} = M_3(u) \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos u & \sin u & 0 \\ -\sin u & \cos u & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>u = w + f</math> <math>f</math>—飞行器的真近点角； <math>w</math>—飞行器轨道的近地点幅角。</p>
8	地心(第二)轨道坐标系 $o_e x_2 y_2 z_2$	卫星轨道坐标系 $oxhz$	$\begin{bmatrix} x \\ h \\ z \end{bmatrix} = M_2[-(90^\circ + f)]M_1(-90^\circ) \begin{bmatrix} x_2 - r_0 \cos f \\ y_2 - r_0 \sin f \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin f & \cos f & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ -\cos f & -\sin f & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 - r_0 \cos f \\ y_2 - r_0 \sin f \\ z_2 \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>r_0</math>—飞行器到地心的距离； <math>f</math>—飞行器的真近点角。</p>
9	水平定向坐标系 $o_0 x_s y_s z_s$	球面水平定向坐标系 ( $S, A, E$ )	$S = \sqrt{x_s^2 + y_s^2 + z_s^2}$ $A = \arctg \frac{x_s}{y_s} \quad (\text{按坐标域取值})$ $E = \arctg \frac{z_s}{\sqrt{x_s^2 + y_s^2}}$

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
10	卫星轨道坐标系 <i>oxhz</i>	卫星直角坐标系 <i>ox<sub>s0</sub>y<sub>s0</sub>z<sub>s0</sub></i>	$\begin{bmatrix} x_{s0} \\ y_{s0} \\ z_{s0} \end{bmatrix} = M_1(g_1)M_3(y_1)M_2(j_1) \bullet \begin{bmatrix} x \\ h \\ z \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} \cos y_1 \cos j_1 & \sin y_1 & -\cos y_1 \sin j_1 \\ -\cos g_1 \sin y_1 \cos j_1 + \sin g_1 \sin j_1 & \cos y_1 \cos g_1 & \cos g_1 \sin y_1 \sin j_1 + \sin g_1 \cos j_1 \\ \sin g_1 \sin y_1 \cos j_1 + \cos g_1 \sin j_1 & -\cos y_1 \sin g_1 & -\sin g_1 \sin y_1 \sin j_1 + \cos g_1 \cos j_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ h \\ z \end{bmatrix}$ <p>式中：<i>j</i><sub>1</sub>—卫星的俯仰角；  <i>y</i><sub>1</sub>—卫星的偏航角；  <i>g</i><sub>1</sub>—卫星的滚动角。</p>
11	大地坐标系 ( <i>h, L, B</i> )	地心(第四)赤道坐标系 <i>O<sub>e</sub>X<sub>4</sub>Y<sub>4</sub>Z<sub>4</sub></i>	$X_4 = (N + h) \cos B \cos L$ $Y_4 = (N + h) \cos B \sin L$ $Z_4 = [N(1 - e^2) + h] \sin B$ <p>式中：<i>N</i>—卯酉圈曲率半径；  <i>e</i>—地球第一偏心率。</p>
		地心球面固连坐标系( <i>r, l, f</i> )	$r = \sqrt{(N + h)^2 \cos^2 B + [N(1 - e^2) + h]^2 \sin^2 B}$ $l = L$ $f = \arctg\left(\frac{N(1 - e^2) + h}{N + h} \operatorname{tg} B\right)$ <p>式中：<i>N</i>—卯酉圈曲率半径；  <i>e</i>—地球第一偏心率。</p>

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
12	发射坐标系 $O_0xyz$	地心(第四)赤道 坐标系 $O_eX_4Y_4Z_4$	$\begin{bmatrix} X_4 \\ Y_4 \\ Z_4 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + B$ <p>式中: <math>A = M_3(90^\circ - I_0)M_1(-B_0)M_2(90^\circ + A_0) =</math></p> $\begin{bmatrix} -\cos I_0 \sin B_0 \cos A_0 - \sin I_0 \sin A_0 & \cos I_0 \cos B_0 & \cos I_0 \sin B_0 \sin A_0 - \sin I_0 \cos A_0 \\ -\sin I_0 \sin B_0 \cos A_0 + \cos I_0 \sin A_0 & \sin I_0 \cos B_0 & \sin I_0 \sin B_0 \sin A_0 + \cos I_0 \cos A_0 \\ \cos B_0 \cos A_0 & \sin B_0 & -\cos B_0 \sin A_0 \end{bmatrix}$ $B = A \begin{bmatrix} R_{ox} \\ R_{oy} \\ R_{oz} \end{bmatrix}$ $R_{0x} = -R_0 \sin m \cos A_0$ $R_{0y} = R_0 \cos m$ $R_{0z} = R_0 \sin m \sin A_0$ $m = B_0 - j_0$ <p>矩阵 A—坐标轴的转动矩阵;          矩阵 B—原点变换后的坐标值(均不考虑垂线偏差);  <math>A_0</math>—发射瞄准方向的大地方位角;  <math>I_0</math>—发射点大地经度;  <math>B_0</math>—发射点大地纬度;  <math>j_0</math>—发射点地心纬度;  <math>R_0</math>—发射点到地心的距离。</p>

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
13	速度坐标系 $ox_v y_v z_v$	飞行器坐标系 $ox_1 y_1 z_1$	$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = M_3(a)M_2(b) \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos a \cos b & \sin a & -\cos a \sin b \\ -\sin a \cos b & \cos a & \sin a \sin b \\ \sin b & 0 & \cos b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>a</math>—攻角，飞行器速度在飞行器纵对称面上的投影与 <math>ox_1</math> 轴之间的夹角； <math>b</math>—侧滑角，飞行器速度与飞行器纵对称面的夹角。</p>
		发射坐标系 $o_0xyz$	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = M_3(-q)M_2(-s)M_1(-n) \bullet \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} \cos q \cos s & \cos q \sin s \sin n - \sin q \cos n & \cos q \sin s \cos n + \sin q \sin n \\ \sin q \cos s & \sin q \sin s \sin n + \cos q \cos n & \sin q \sin s \cos n - \cos q \sin n \\ -\sin s & \cos s \sin n & \cos s \cos n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>q</math>—弹道倾角，速度矢量在 <math>o_0xy</math> 平面上投影与 <math>o_0x</math> 轴之间的夹角； <math>s</math>—弹道偏角，速度矢量与 <math>o_0xy</math> 平面之间的夹角； <math>n</math>—倾侧角，<math>oy_v</math> 轴绕 <math>ox_v</math> 轴从 <math>o_0xy</math> 平面转过的角度。（为第二组欧拉角）</p>
14	飞行器坐标系 $ox_1 y_1 z_1$	发射坐标系 $o_0xyz$	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = M_3(-j)M_2(-y)M_1(-g) \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} \cos j \cos y & -\sin j \cos g + \cos j \sin y \sin g & \sin j \sin g + \cos j \sin y \cos g \\ \sin j \cos y & \cos j \cos g + \sin j \sin y \sin g & -\cos j \sin g + \sin j \sin y \cos g \\ -\sin y & \cos y \sin g & \cos y \cos g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>j</math>—俯仰角； <math>y</math>—偏航角； <math>l</math>—滚动角。（为第二组欧拉角）</p>

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
15	逃逸飞行器发射坐标系 $O_0XYZ$	逃逸飞行器质心坐标系 $OX_cY_cZ_c$	$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = T_{co} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{c0} \\ Y_{c0} \\ Z_{c0} \end{bmatrix}$ $T_{co} = M_1(g)M_3(j)M_2(y)$ $= \begin{bmatrix} \cos j \cos y & \sin j & -\cos j \sin y \\ -\sin j \cos y \cos g + \sin y \sin g & \cos j \cos g & \sin j \sin y \cos g + \cos y \sin g \\ \sin j \cos y \sin g + \sin y \cos g & -\cos j \sin g & -\sin j \sin y \sin g + \cos y \cos g \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>X_{c0}</math>、<math>Y_{c0}</math>、<math>Z_{c0}</math> 为发射点在逃逸飞行器质心坐标系中的坐标;  <math>j</math>—俯仰角;  <math>y</math>—偏航角;  <math>g</math>—滚动角。(为第一组欧拉角)</p>
16	逃逸飞行器速度坐标系 $OX_vY_vZ_v$		$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = T_{cv} \begin{bmatrix} X_v \\ Y_v \\ Z_v \end{bmatrix}$ $T_{cv} = M_3(a)M_2(b) = \begin{bmatrix} \cos a \cos b & \sin a & -\cos a \sin b \\ -\sin a \cos b & \cos a & \sin a \sin b \\ \sin b & 0 & \cos b \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>a</math>—攻角;  <math>b</math>—侧滑角。</p>
17	逃逸飞行器质心坐标系 $OX_cY_cZ_c$	逃逸飞行器体坐标系 $O_bX_bY_bZ_b$	$\begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{cb} \\ Y_{cb} \\ Z_{cb} \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>X_{cb}</math>、<math>Y_{cb}</math>、<math>Z_{cb}</math>—逃逸飞行器质心在逃逸飞行器体坐标系中的坐标。</p>

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
18	逃逸飞行器体坐标系 $O_b X_b Y_b Z_b$	载人运载火箭箭体坐标系 $O_{x_m} y_m z_m$	$\begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{bm} \\ Y_{bm} \\ Z_{bm} \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>X_{bm}</math>、<math>Y_{bm}</math>、<math>Z_{bm}</math>—逃逸飞行器体坐标系原点在载人运载火箭箭体坐标系中的坐标。</p>
		船箭对接坐标系 $O_{x_d} y_d z_d$	$\begin{bmatrix} X_d \\ Y_d \\ Z_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{bd} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>X_{bd}</math>—逃逸飞行器体坐标系原点与船箭对接坐标系原点沿载人运载火箭纵轴方向的距离。</p>
19	J2000.0 地心平赤道坐标系 $O_e X_1 Y_1 Z_1$	J2000.0 月心坐标系 $O_m X_2 Y_2 Z_2$	$X_2 = X_1 - X_m$ $Y_2 = Y_1 - Y_m$ $Z_2 = Z_1 - Z_m$ <p>式中：<math>X_m</math>、<math>Y_m</math>、<math>Z_m</math>为月心在 J2000.0 地心平赤道坐标系中的坐标。</p>

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
20	J2000.0 月心坐标系 $O_m X_2 Y_2 Z_2$	月心赤道坐标系 $O_m X_3 Y_3 Z_3$	$\begin{bmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{bmatrix} = M_1[90^\circ - (d + \Delta d)]M_3[90^\circ + (a + \Delta a)] \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} -\sin(a + \Delta a) & \cos(a + \Delta a) & 0 \\ -\cos(a + \Delta a)\sin(d + \Delta d) & -\sin(a + \Delta a)\sin(d + \Delta d) & \cos(d + \Delta d) \\ \cos(a + \Delta a)\cos(d + \Delta d) & \sin(a + \Delta a)\cos(d + \Delta d) & \sin(d + \Delta d) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix}$ <p>式中:</p> $a + \Delta a = 269.9949 + 0.0031T - 3.8787 \sin(E_1) - 0.1204 \sin(E_2) + 0.0700 \sin(E_3) - 0.0172 \sin(E_4) + 0.0072 \sin(E_6) - 0.0052 \sin(E_{10}) + 0.0043 \sin(E_{13});$ $d + \Delta d = 66.5392 + 0.0130T + 1.5419 \cos(E_1) + 0.0239 \cos(E_2) - 0.0278 \cos(E_3) + 0.0068 \cos(E_4) - 0.0029 \cos(E_6) + 0.0009 \cos(E_7) + 0.008 \cos(E_{10}) - 0.0009 \cos(E_{13})$ $E_1 = 125.045 - 0.0529921d; \quad E_2 = 250.089 - 0.1059842d; \quad E_3 = 260.008 + 13.0120009d;$ $E_4 = 176.625 + 13.3407154d; \quad E_5 = 357.529 + 0.9856003d; \quad E_6 = 311.589 + 26.4057084d$ $E_7 = 134.963 + 13.0649930d; \quad E_8 = 276.617 + 0.3287146d; \quad E_9 = 34.226 + 1.7484877d;$ $E_{10} = 15.134 - 0.1589763d; \quad E_{11} = 119.743 + 0.0036096d; \quad E_{12} = 239.961 + 0.1643573d;$ $E_{13} = 25.053 + 12.9590088d; \quad d = JD - 2451545; \quad T = d/36525。$ <p><math>JD</math> 为计算时刻儒略日数, <math>d</math> 为自 2000 年 1 月 1 日世界时 12 时计算的儒略日数, <math>T</math> 为自 2000 年 1 月 1 日世界时 12 时计算的儒略世纪数。<math>\alpha + \Delta \alpha</math> 和 <math>\delta + \Delta \delta</math> 计算结果的单位为度 (<math>^\circ</math>)。</p>

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
21	J2000.0 月心坐标系 $O_m X_2 Y_2 Z_2$	月固平地球/极轴坐标系 (IAU/IAG2000) $O_m X_4 Y_4 Z_4$	$\begin{bmatrix} X_4 \\ Y_4 \\ Z_4 \end{bmatrix} = M_3(w + \Delta w) M_1[90^\circ - (d + \Delta d)] M_3[90^\circ + (a + \Delta a)] \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix}$ $c_{11} = -\sin(a + \Delta a) \cos(w + \Delta w) - \cos(a + \Delta a) \sin(w + \Delta w) \sin(d + \Delta d)$ $c_{12} = \cos(a + \Delta a) \cos(w + \Delta w) - \sin(a + \Delta a) \sin(w + \Delta w) \sin(d + \Delta d)$ $c_{13} = \sin(w + \Delta w) \cos(d + \Delta d)$ $c_{21} = \sin(a + \Delta a) \sin(w + \Delta w) - \cos(a + \Delta a) \cos(w + \Delta w) \sin(d + \Delta d)$ $c_{22} = -\cos(a + \Delta a) \sin(w + \Delta w) - \sin(a + \Delta a) \cos(w + \Delta w) \sin(d + \Delta d)$ $c_{23} = \cos(w + \Delta w) \cos(d + \Delta d)$ $c_{31} = \cos(a + \Delta a) \cos(d + \Delta d)$ $c_{32} = \sin(a + \Delta a) \cos(d + \Delta d)$ $c_{33} = \sin(d + \Delta d)$ <p>式中：<math>a + \Delta a</math>、<math>d + \Delta d</math>、<math>E_1 \sim E_{13}</math>、<math>d</math>、<math>T</math> 同 J2000.0 月心坐标系到月心赤道坐标系的转换公式中参数；</p> $w + \Delta w = 38.3213 + 13.17635815d - 1.4 \times 10^{-12} d^2 + 3.5610 \sin(E_1)$ $+ 0.1208 \sin(E_2) - 0.0642 \sin(E_3) + 0.0158 \sin(E_4)$ $+ 0.0252 \sin(E_5) - 0.0066 \sin(E_6) - 0.0047 \sin(E_7)$ $- 0.0046 \sin(E_8) + 0.0028 \sin(E_9) + 0.0052 \sin(E_{10})$ $+ 0.0040 \sin(E_{11}) + 0.0019 \sin(E_{12}) - 0.0044 \sin(E_{13})$ <p><math>\omega + \Delta \omega</math> 计算结果的单位为度 (°)。</p>

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
22	J2000.0 月心坐标系 $O_m X_2 Y_2 Z_2$	月固惯量主轴坐标系 $O_m X_5 Y_5 Z_5$	$\begin{bmatrix} X_5 \\ Y_5 \\ Z_5 \end{bmatrix} = M_3(A)M_1(is)M_3(\Omega') \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix}$ $d_{11} = \cos(\Omega') \cos(A) - \sin(\Omega') \sin(A) \cos(is)$ $d_{12} = \sin(\Omega') \cos(A) + \cos(\Omega') \sin(A) \cos(is)$ $d_{13} = \sin(A) \sin(is)$ $d_{21} = -\cos(\Omega') \sin(A) - \sin(\Omega') \cos(A) \cos(is)$ $d_{22} = -\sin(\Omega') \sin(A) + \cos(\Omega') \cos(A) \cos(is)$ $d_{23} = \cos(A) \sin(is)$ $d_{31} = \sin(\Omega') \sin(is)$ $d_{32} = -\cos(\Omega') \sin(is)$ $d_{33} = \cos(is)$ <p>式中：<math>is</math>、<math>\Omega'</math>和<math>A</math>为月球天平动数据，根据 JPL DE 历表插值计算，单位为弧度；<math>is</math>为月球赤道平面与地球 J2000.0 平赤道面的夹角，<math>\Omega'</math>为月心赤道坐标系 <math>O_m X_3</math> 轴指向的赤经，<math>A</math>为月球本初子午面自此 <math>O_m X_3</math> 轴转过的角度。</p>

表 11 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
23	月固惯量主轴坐标系 $O_m X_5 Y_5 Z_5$	月固平地球/极轴坐标系 $O_m X_4 Y_4 Z_4$	$\begin{bmatrix} X_5 \\ Y_5 \\ Z_5 \end{bmatrix} = M_1(P_2)M_2(-P_1)M_3(t) \begin{bmatrix} X_4 \\ Y_4 \\ Z_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_4 \\ Y_4 \\ Z_4 \end{bmatrix}$ $e_{11} = \cos(P_1) \cos(t)$ $e_{12} = \cos(P_1) \sin(t)$ $e_{13} = \sin(P_1)$ $e_{21} = -\sin(P_1) \sin(P_2) \cos(t) - \cos(P_2) \sin(t)$ $e_{22} = -\sin(P_1) \sin(P_2) \sin(t) + \cos(P_2) \cos(t)$ $e_{23} = \cos(P_1) \sin(P_2)$ $e_{31} = -\sin(P_1) \cos(P_2) \cos(t) + \sin(P_2) \sin(t)$ $e_{32} = -\sin(P_1) \cos(P_2) \sin(t) - \sin(P_2) \cos(t)$ $e_{33} = \cos(P_1) \cos(P_2)$ <p>式中: <math>P_1</math>, <math>P_2</math> 和 <math>t</math> 由所使用的月面控制网提供。如:</p> $P_1 = -72''.450; P_2 = 0''.530; t = 219''.45; \text{ (R.W.King 1977)}$ $P_1 = -84''.956; P_2 = 0''.305; t = 80''.025; \text{ (Ferrari 1980)}$ $P_1 = -79''.695; P_2 = 0''.405; t = 43''.506; \text{ (R.W.King 1986)}$ $P_1 = -78''.406; P_2 = 0''.292; t = 79''.816; \text{ (J.G.Williams 1986)}$

表12 第二类坐标系

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
1	地面(射击)坐标系 $o_0x_d y_d z_d$	发射点	$o_0x_d$ —在发射点的水平面上,与导弹发射瞬时目标水平速度方向平行,其指向在迎击时与目标水平速度方向相反;在尾追时与目标水平速度方向相同; $o_0y_d$ —在包含 $o_0x_d$ 轴的当地铅垂面内,与 $o_0x_d$ 轴垂直,指向上。	
2	弹体坐标系 $ox_1 y_1 z_1$	导弹质心	$ox_1$ —沿导弹纵轴,指向弹头; $oy_1$ —在导弹的纵对称面内,垂直 $ox_1$ 轴,其指向按水平发射状态时,指向上为正。	
3	弹道(弹道固连)坐标系 $ox_2 y_2 z_2$	导弹质心	$ox_2$ —沿导弹的速度方向; $oy_2$ —在过 $ox_2$ 轴的铅垂面内,垂直 $ox_2$ 轴,其指向按水平发射状态时,指向上为正。	
4	速度坐标系 $ox_v y_v z_v$	导弹质心	$ox_v$ —沿导弹的速度方向; $oy_v$ —在导弹的纵对称平面内,垂直于 $ox_v$ 轴,其指向按水平发射状态时,指向上为正。	
5	执行(弹体执行)坐标系 $ox_{zx} y_{zx} z_{zx}$	导弹质心	$ox_{zx}$ —沿导弹纵轴,指向弹头; $oy_{zx}$ —位于导弹的I舵方向,垂直 $ox_{zx}$ 轴,指向弹体外部。	

表 12 (续)

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
6	半弹体坐标系 $ox_b y_b z_b$	导弹质心	$ox_b$ —沿导弹纵轴, 指向弹头; $oy_b$ —在包含 $ox_b$ 轴的铅垂平面内, 垂直 $ox_b$ 轴, 其指向按水平发射状态时, 指向上为正。	
7	导弹视线坐标系 $ox_s y_s z_s$	导弹质心	$ox_s$ —沿视线方向, 指向目标; $oy_s$ —在包含 $ox_s$ 轴的垂直 $o_0x_d z_d$ 的平面内, 垂直 $ox_s$ 轴, 其指向按水平发射状态时, 指向上为正。	
8	导弹测量坐标系 $o_0x_{mc} y_{mc} z_{mc}$	地面引导站	$o_0x_{mc}$ —与从测量点到导弹质心的矢径一致; $o_0y_{mc}$ —在包含 $o_0x_{mc}$ 轴的铅垂平面内, 垂直 $o_0x_{mc}$ 轴, 指向上为正。	
9	目标测量坐标系 $o_0x_{tc} y_{tc} z_{tc}$	地面引导站	$o_0x_{tc}$ —与从测量点到目标质心的矢径一致; $o_0y_{tc}$ —位于过 $o_0x_{tc}$ 轴的铅垂平面内, 与 $o_0x_{tc}$ 轴垂直, 指向上为正。	
10	目标航迹坐标系 $o_t x_{tz} y_{tz} z_{tz}$	目标质心	$o_t x_{tz}$ —沿目标的速度方向; $o_t y_{tz}$ —在包含 $o_t x_{tz}$ 轴的铅垂平面内, 垂直 $o_t x_{tz}$ 轴, 其指向为按目标水平飞行时, 指向上为正。	
11	发射坐标系 $ox_f y_f z_f$	发射瞬时导弹质心	$ox_f$ —在发射点水平面内, 指向发射瞄准方向; $oy_f$ —沿发射点的铅垂线向上; $ox_f y_f z_f$ 为右手直角坐标系。	(略)

表 12 (续)

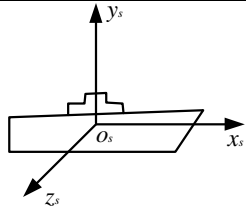
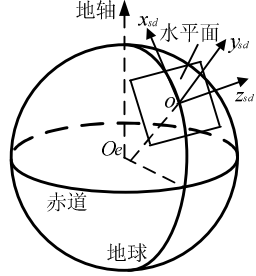
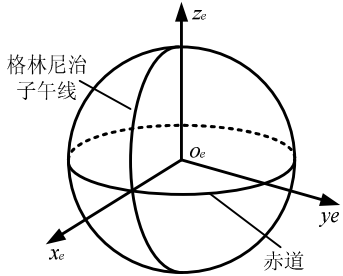
序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
12	载体坐标系 $o_s x_s y_s z_s$	载体中心	$o_s x_s$ —在载体纵对称面内,沿载体纵轴,指向载体前部; $o_s y_s$ —在载体纵对称面内,垂直 $o_s x_s$ 轴,指向上为正。	
13	弹上测量坐标系 $o_{x_{si}} y_{si} z_{si}$	弹上天线旋转中心	$o_{x_{si}}$ —沿测量装置的敏感轴(即天线等强信号线),指向前为正; $o_{y_{si}}$ —在垂直于弹体坐标系 $o_{x_1} y_1$ 的平面,其指向为按 $o_{x_{si}}$ 轴与 $o_{x_1}$ 轴一致时,指向上为正。	(略)
14	地面测量坐标系 $o_{x_{sd}} y_{sd} z_{sd}$	地面雷达天线旋转中心	$o_{x_{sd}}$ —在过坐标原点的水平面内,指向正北; $o_{y_{sd}}$ —在通过 $o_{x_{sd}}$ 轴的铅垂面内,垂直 $o_{x_{sd}}$ 轴,指向上为正。	
15	地心球面固连坐标系 $(r, l, j)$	同表 7 中序号 7。		
16	大地坐标系 $(h, L, B)$	同表 8 中序号 6。		
17	惯性平台坐标系 $(o_{x_p} y_p z_p)$	同表 9 中序号 4。		
18	地球坐标系 $(o_e x_e y_e z_e)$	地心	$o_e x_e$ —在赤道平面内,指向格林尼治子午线; $o_e z_e$ —沿地球自转轴,指向北极。	

表 12 (续)

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
19	地理坐标系 $o_g x_g y_g z_g$	地球上某点	$o_g x_g$ —在当地水平面内, 指向正北; $o_g z_g$ —在当地水平面内, 指向正东。	
20	目标固连坐标系 $o_t x_t y_t z_t$	同表 9 序号 2。		

表13 第二类坐标系之间的变换公式

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
1	地面（射击）坐标系 $o_0x_d y_d z_d$	弹体坐标系 $ox_1 y_1 z_1$	$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = M_1(\mathbf{g})M_3(\mathbf{J})M_2(\mathbf{y}) \cdot \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} \cos J \cos y & \sin J & -\cos J \sin y \\ -\sin J \cos y \cos g + \sin y \sin g & \cos J \cos g & \sin J \sin y \cos g + \cos y \sin g \\ \sin J \cos y \sin g + \sin y \cos g & -\cos J \sin g & -\sin J \sin y \sin g + \cos y \cos g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>y</math>—偏航角；  <math>J</math>—俯仰角（也可以用符号 <math>j</math>，以下同）；  <math>g</math>—滚转角。（为第一组欧拉角）</p>
		弹道（弹道固连）坐标系 $ox_2 y_2 z_2$	$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = M_3(\mathbf{q})M_2(\mathbf{y}_c) \cdot \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q \cos y_c & \sin q & -\cos q \sin y_c \\ -\sin q \cos y_c & \cos q & \sin q \sin y_c \\ \sin y_c & 0 & \cos y_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>y_c</math>—弹道偏角（也可以用符号 <math>s</math>），<math>ox_2</math> 轴在水平面上的投影与 <math>o_0x_d</math> 轴之间的夹角；  <math>q</math>—弹道倾角，<math>ox_2</math> 轴与水平面之间的夹角。</p>
		导弹测量坐标系 $o_0x_{mc} y_{mc} z_{mc}$	$\begin{bmatrix} x_{mc} \\ y_{mc} \\ z_{mc} \end{bmatrix} = M_3(\mathbf{e}_m)M_2(\mathbf{b}_m) \cdot \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos e_m \cos b_m & \sin e_m & -\cos e_m \sin b_m \\ -\sin e_m \cos b_m & \cos e_m & \sin e_m \sin b_m \\ \sin b_m & 0 & \cos b_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>b_m</math>—导弹方位角，<math>o_0x_{mc}</math> 轴在水平面上的投影与 <math>o_0x_d</math> 轴之间的夹角；  <math>e_m</math>—导弹高低角，<math>o_0x_{mc}</math> 轴与水平面之间的夹角。</p>

表 13 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
2	地面(射击)坐标系 $o_0x_d y_d z_d$	目标测量坐标系 $o_0x_{tc} y_{tc} z_{tc}$	$\begin{bmatrix} x_{tc} \\ y_{tc} \\ z_{tc} \end{bmatrix} = M_3(e_t)M_2(b_t) \cdot \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos e_t \cos b_t & \sin e_t & -\cos e_t \sin b_t \\ -\sin e_t \cos b_t & \cos e_t & \sin e_t \sin b_t \\ \sin b_t & 0 & \cos b_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>b_t</math>—目标方位角，<math>o_0x_{tc}</math>轴在水平面上的投影与<math>o_0x_d</math>轴之间的夹角； <math>e_t</math>—目标高低角，<math>o_0x_{tc}</math>轴与水平面之间的夹角。</p>
		目标航迹坐标系 $o_t x_{tz} y_{tz} z_{tz}$	$\begin{bmatrix} x_{tz} \\ y_{tz} \\ z_{tz} \end{bmatrix} = M_3(q_t)M_2(y_t) \cdot \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q_t \cos y_t & \sin q_t & -\cos q_t \sin y_t \\ -\sin q_t \cos y_t & \cos q_t & \sin q_t \sin y_t \\ \sin y_t & 0 & \cos y_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>y_t</math>—目标方位角，<math>o_0x_{tz}</math>轴在水平面上的投影与<math>o_0x_d</math>轴之间的夹角； <math>q_t</math>—目标高低角，<math>o_0x_{tz}</math>轴与水平面之间的夹角。</p>
		发射坐标系 $ox_f y_f z_f$	$\begin{bmatrix} x_f \\ y_f \\ z_f \end{bmatrix} = M_2(a) \cdot \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos a & 0 & -\sin a \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin a & 0 & \cos a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>a</math>—<math>ox_f</math>轴与<math>o_0x_d</math>轴之间的夹角。</p>
		导弹视线坐标系 $ox_s y_s z_s$	$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} = M_3(q_B)M_2(q_H) \cdot \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q_B \cos q_H & \sin q_B & -\cos q_B \sin q_H \\ -\sin q_B \cos q_H & \cos q_B & \sin q_B \sin q_H \\ \sin q_H & 0 & \cos q_H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>q_H</math>—导弹视线方位角，<math>ox_s</math>轴在<math>o_0x_d z_d</math>平面上的投影与<math>o_0x_d</math>轴之间的夹角； <math>q_B</math>—导弹视线高低角，<math>ox_s</math>轴与<math>o_0x_d z_d</math>平面之间的夹角。</p>

表 13 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
3	弹体坐标系 $ox_1y_1z_1$	执行(弹体执行)坐标系 $ox_{zx}y_{zx}z_{zx}$	$\begin{bmatrix} x_{zx} \\ y_{zx} \\ z_{zx} \end{bmatrix} = M_1(\mathbf{g}_1) \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos g_1 & \sin g_1 \\ 0 & -\sin g_1 & \cos g_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>\mathbf{g}_1</math>—上翘角, 弹翼平面与 <math>ox_1z_1</math> 平面之间的夹角; 在十字型安装中, <math>\mathbf{g}_1 = 0^\circ</math>; 在×字型安装中, <math>\mathbf{g}_1 = 45^\circ</math>。</p>
4	弹道(弹道固连)坐标系 $ox_2y_2z_2$	速度坐标系 $ox_vy_vz_v$	$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} = M_1(\mathbf{g}_c) \cdot \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos g_c & \sin g_c \\ 0 & -\sin g_c & \cos g_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>\mathbf{g}_c</math>—滚转角, 垂直于速度矢量的 <math>oy_v</math> 轴与包含有速度矢量的铅垂平面之间的夹角。</p>
5	速度坐标系 $ox_vy_vz_v$	弹体坐标系 $ox_1y_1z_1$	$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = M_3(\mathbf{a})M_2(\mathbf{b}) \cdot \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos a \cos b & \sin a & -\cos a \sin b \\ -\sin a \cos b & \cos a & \sin a \sin b \\ \sin b & 0 & \cos b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>\mathbf{a}</math>—攻角, 导弹速度在导弹纵对称面上的投影与 <math>ox_1</math> 轴之间的夹角; <math>\mathbf{b}</math>—侧滑角, 导弹速度与导弹纵对称面的夹角。</p>
6	半弹体坐标系 $ox_by_bz_b$	弹体坐标系 $ox_1y_1z_1$	$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = M_1(\mathbf{g}_0) \cdot \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos g_0 & \sin g_0 \\ 0 & -\sin g_0 & \cos g_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix}$ <p>式中: <math>\mathbf{g}_0</math>—弹体旋转角, <math>oy_1</math> 轴与包含 <math>ox_1</math> 轴的铅垂平面之间的夹角。</p>

表14 第三类坐标系

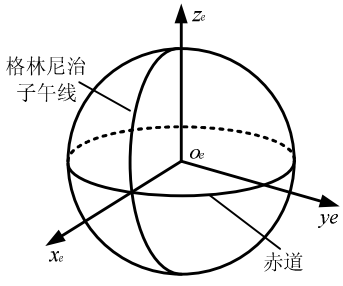
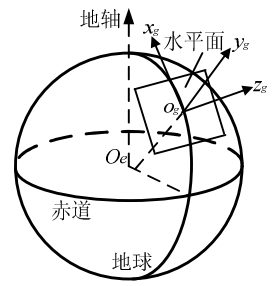
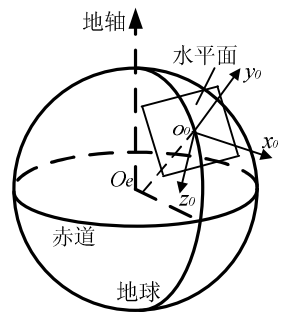
序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
1	地球坐标系 $O_e x_e y_e z_e$	地心	$O_e x_e$ —在赤道平面内, 指向格林尼治子午线; $O_e z_e$ —沿地球自转轴, 指向北极。	
2	地理坐标系 $O_g x_g y_g z_g$	导弹质心在地球上的投影点	$O_g x_g$ —在当地水平面内, 指向正北(或正东); $O_g y_g$ —在当地水平面内, 指向天(或正北)。 其坐标轴方向可按研究问题的需要来定。	
3	发射坐标系 $O_0 x_0 y_0 z_0$	发射瞬时导弹质心在地球上的投影点	$O_0 x_0$ —在坐标原点的水平面内, 指向发射瞄准方向; $O_0 y_0$ —沿过坐标原点的铅垂线, 指向上。	
4	发射惯性坐标系 $O_{i0} x_{i0} y_{i0} z_{i0}$	与发射瞬时导弹质心在地球上的投影点重合	$O_{i0} x_{i0} y_{i0} z_{i0}$ 与发射瞬时的发射坐标系 $O_0 x_0 y_0 z_0$ 重合, 坐标原点在惯性空间中不变。	(略)
5	目标固连坐标系 $O_t x_t y_t z_t$	目标上某特征点	$O_t x_t$ —在坐标原点的水平面内, 其方向可按研究问题的需要来定; $O_t y_t$ —沿过坐标原点的铅垂线, 指向上。	(略)

表 14 (续)

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
6	弹体(导弹固连)坐标系 $ox_1y_1z_1$	导弹质心	$ox_1$ —在导弹纵对称面内,沿导弹纵轴指向弹头; $oy_1$ —在导弹纵对称面内,当导弹相对地面正常放置时,垂直 $ox_1$ 轴,指向上。	
7	载体坐标系 $ox_sx_sy_sz_s$	导弹载体的质心	$ox_s$ —在载体纵对称面内,沿载体纵轴指向前; $oy_s$ —在载体纵对称面内,当载体相对地面正常放置时,垂直 $ox_s$ 轴,指向上。	
8	速度坐标系 $ox_vy_vz_v$	导弹质心	$ox_v$ —沿导弹的速度方向; $oy_v$ —在导弹的纵对称面内,垂直于 $ox_v$ 轴,其指向按水平发射状态时,指向上为正。	
9	弹道(半速度)坐标系 $oxyz$	导弹质心	$ox$ —沿导弹的速度方向; $oy$ —在过 $ox$ 轴铅垂平面内,垂直于 $ox$ 轴,其指向按水平发射状态时,指向上为正。	
10	相对气流坐标系 $ox_r y_r z_r$	导弹质心	$ox_r$ —与导弹质心的相对气流的速度矢量相重合; $oy_r$ —在导弹纵对称面内,垂直 $ox_r$ 轴,其指向按水平发射状态时,指向上为正。	

表 14 (续)

序号	名称	原点	坐标轴或坐标	略图
11	指北方位平台坐标系 $O_p x_p y_p z_p$ (适用于中低纬度地区)	导弹质心	$O_p x_p$ —在与当地水平面平行的平面内, 指向正东; $O_p y_p$ —在与当地水平面平行的平面内, 指向正北。	
12	大地坐标系 ( $h, L, B$ )	同表 8 中序号 6。		
13	导弹视线坐标系 $Ox_s y_s z_s$	导弹质心	$Ox_s$ —沿视线方向, 指向目标; $Oy_s$ —在垂直于 $Ox_s$ 轴的平面内; $Oz_s$ 轴按右手法则确定。	

表15 第三类坐标系之间的变换公式

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
1	地球坐标系 $O_e x_e y_e z_e$	目标固连坐标系 $O_t x_t y_t z_t$	$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} = M_2[-(90^\circ + A)]M_1(B_t)M_3[-(90^\circ - I_t)] \bullet \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} -\cos A \sin B_t \cos I_t - \sin A \sin I_t & -\cos A \sin B_t \sin I_t + \sin A \cos I_t & \cos A \cos B_t \\ \cos B_t \cos I_t & \cos B_t \sin I_t & \sin B_t \\ \sin A \sin B_t \cos I_t - \cos A \sin I_t & \sin A \sin B_t \sin I_t + \cos A \cos I_t & -\sin A \cos B_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>B_t</math>，<math>I_t</math>—目标固连坐标系坐标原点的大地纬度，经度； <math>A</math>—<math>O_e x_e</math>轴的大地方位角。</p>
		指北方位平台坐标系 $O_p x_p y_p z_p$	$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = M_1(90^\circ - B)M_3(90^\circ + I) \bullet \begin{bmatrix} x_e - x_{pe} \\ y_e - y_{pe} \\ z_e - z_{pe} \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} -\sin I & \cos I & 0 \\ -\sin B \cos I & -\sin B \sin I & \cos B \\ \cos B \cos I & \cos B \sin I & \sin B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_e - x_{pe} \\ y_e - y_{pe} \\ z_e - z_{pe} \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>B</math>，<math>I</math>—导弹质心大地纬度，经度； <math>x_{pe}</math>，<math>y_{pe}</math>，<math>z_{pe}</math>—指北方位平台坐标系坐标原点在地球坐标系中的坐标。</p>

表 15 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
2	地理坐标系 $O_g x_g y_g z_g$	地球坐标系 $O_e x_e y_e z_e$	$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \end{bmatrix} = M_3[-(90^\circ + I)]M_1[-(90^\circ - B)] \bullet \begin{bmatrix} x_g \\ y_g \\ z_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{ge} \\ y_{ge} \\ z_{ge} \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} -\sin I & -\sin B \cos I & \cos B \cos I \\ \cos I & -\sin B \sin I & \cos B \sin I \\ 0 & \cos B & \sin B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_g \\ y_g \\ z_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{ge} \\ y_{ge} \\ z_{ge} \end{bmatrix}$ $x_{ge} = \frac{a_e}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \cos B \cos I$ $y_{ge} = \frac{a_e}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \cos B \sin I$ $z_{ge} = \frac{a_e(1 - e^2)}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \sin B$ <p>式中：<math>x_{ge}</math>、<math>y_{ge}</math>、<math>z_{ge}</math>—地理坐标系原点在地球坐标系中的坐标；  <math>a_e</math>—地球的赤道半径；  <math>e</math>—地球的第一偏心率；  <math>B</math>、<math>I</math>—地理坐标系坐标原点的大地纬度、经度。</p>

表 15 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
3	发射惯性坐标系 $O_{i0}x_{i0}y_{i0}z_{i0}$	弹体(导弹固连)坐标系 $Ox_1y_1z_1$	$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = M_1(\mathbf{g}_i)M_3(J_i)M_2(\mathbf{y}_i) \bullet \begin{bmatrix} x_{i0} \\ y_{i0} \\ z_{i0} \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} \cos J_i \cos y_i & \sin J_i & -\cos J_i \sin y_i \\ -\sin J_i \cos y_i \cos g_i + \sin y_i \sin g_i & \cos J_i \cos g_i & \sin J_i \sin y_i \cos g_i + \cos y_i \sin g_i \\ \sin J_i \cos y_i \sin g_i + \sin y_i \cos g_i & -\cos J_i \sin g_i & -\sin J_i \sin y_i \sin g_i + \cos y_i \cos g_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i0} \\ y_{i0} \\ z_{i0} \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>\mathbf{y}_i</math>—在发射惯性坐标系中导弹的偏航角；  <math>J_i</math>—在发射惯性坐标系中导弹的俯仰角；  <math>\mathbf{g}_i</math>—在发射惯性坐标系中导弹的滚转角。  (为第一组欧拉角)</p>
		弹道(半速度)坐标系 $Oxyz$	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = M_3(\mathbf{q}_i)M_2(\mathbf{y}_{ci}) \bullet \begin{bmatrix} x_{i0} \\ y_{i0} \\ z_{i0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q_i \cos y_{ci} & \sin q_i & -\cos q_i \sin y_{ci} \\ -\sin q_i \cos y_{ci} & \cos q_i & \sin q_i \sin y_{ci} \\ \sin y_{ci} & 0 & \cos y_{ci} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i0} \\ y_{i0} \\ z_{i0} \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>\mathbf{q}_i</math>—在发射惯性坐标系中的弹道倾角；  <math>\mathbf{y}_{ci}</math>—在发射惯性坐标系中的弹道偏角。</p>
		搜捕坐标系 $O_{e1}x_{e1}y_{e1}z_{e1}$	$\begin{bmatrix} x_{e1} \\ y_{e1} \\ z_{e1} \end{bmatrix} = M_2(\mathbf{y}_i) \bullet \begin{bmatrix} x_{i0} \\ y_{i0} \\ z_{i0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos y_i & 0 & -\sin y_i \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin y_i & 0 & \cos y_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i0} \\ y_{i0} \\ z_{i0} \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>\mathbf{y}_i</math>—导弹的偏航角。</p>

表 15 (续)

序号	原坐标系	变换坐标系	从原坐标系到变换坐标系的变换公式
4	发射坐标系 $o_0x_0y_0z_0$	弹体 (导弹固连) 坐标系 $ox_1y_1z_1$	$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = M_1(\mathbf{g})M_3(\mathbf{J})M_2(\mathbf{y}) \cdot \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} \cos J \cos y & \sin J & -\cos J \sin y \\ -\sin J \cos y \cos g + \sin y \sin g & \cos J \cos g & \sin J \sin y \cos g + \cos y \sin g \\ \sin J \cos y \sin g + \sin y \cos g & -\cos J \sin g & -\sin J \sin y \sin g + \cos y \cos g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>\mathbf{y}</math>—在发射坐标系中导弹的偏航角；  <math>\mathbf{J}</math>—在发射坐标系中导弹的俯仰角；  <math>\mathbf{g}</math>—在发射坐标系中导弹的滚转角。                      (为第一组欧拉角)</p>
5	速度坐标系 $ox_vy_vz_v$	弹体 (导弹固连) 坐标系 $ox_1y_1z_1$	$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = M_3(\mathbf{a})M_2(\mathbf{b}) \cdot \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos a \cos b & \sin a & -\cos a \sin b \\ -\sin a \cos b & \cos a & \sin a \sin b \\ \sin b & 0 & \cos b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix}$ <p>式中：<math>\mathbf{a}</math>—攻角，导弹速度在导弹纵对称面上的投影与 <math>ox_1</math> 轴之间的夹角；  <math>\mathbf{b}</math>—侧滑角，导弹速度与导弹纵对称面的夹角。</p>