

# QJ

## 中华人民共和国航天行业标准

FL 1600

QJ 20128A—2018

代替 QJ 20128—2012

### 空间碎片轨道寿命预计

Orbit lifetime estimation for space debris

2018—01—18 发布

2018—05—01 实施

国家国防科技工业局 发布



## 前 言

本标准代替QJ 20128—2012《空间碎片轨道寿命预计》。

本标准与QJ 20128—2012相比，主要有以下变化：

- a) 修改了第2章“规范性引用文件”中的标准清单；
- b) 修改了4.2“大气阻力”中的引用文件。

本标准由中国航天科技集团有限公司提出。

本标准由中国航天标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国航天科技集团有限公司第五研究院总体部。

本标准主要起草人：冯 昊、向开恒、陈绍龙、黄美丽、周 静、孟占峰。

QJ 20128于2013年1月首次发布。



# 空间碎片轨道寿命预计

## 1 范围

本标准规定了空间碎片轨道寿命的影响因素及预计方法。  
本标准适用于空间碎片和其他空间物体轨道寿命的确定。

## 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。

GB/T 29079—2012 航天器轨道分类及常用参数符号

ISO 14222 空间环境（自然与人工）——地球高层大气

## 3 术语和定义、符号

### 3.1 术语和定义

GB/T 29079—2012 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1.1

**轨道寿命** **orbital lifetime**

从给定的参考时间点起至陨落或者再入稠密大气层（通常认为高度在100km以下）所经过的时间。

### 3.2 符号

下列符号适用于本标准。

$a$ ——轨道半长轴，单位为千米（km）；

$A$ ——迎风面截面积，单位为平方米（m<sup>2</sup>）；

$C_D$ ——大气阻力系数，无量纲；

$e$ ——轨道偏心率，无量纲；

$H$ ——近地点处大气密度标高，单位为千米（km）；

$L$ ——轨道寿命，单位为天（d）；

$m$ ——质量，单位为千克（kg）；

$r$ ——地心距，单位为千米（km）；

$r_p$ ——近地点地心距，单位为千米（km）；

$T$ ——轨道周期，单位为秒（s）；

$\dot{T}$ ——轨道周期变化率，单位为秒每天（s/d）；

$t$ ——时间，单位为秒（s）；

$v$ ——速率，单位为千米每秒（km/s）；

$\beta$ ——弹道系数，单位为平方米每千克（m<sup>2</sup>/kg）；

$\theta$ ——真近点角，单位为度（°）；

$\mu$ ——地球引力常数，单位为立方千米每二次方秒（km<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>）；

$\rho$ ——大气密度，单位为千克每立方米 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；  
 $\rho_p$ ——近地点处大气密度，单位为千克每立方米 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

#### 4 轨道寿命考虑的因素及一般规定

##### 4.1 概述

影响空间碎片轨道寿命的主要因素是大气阻力。对于大椭圆轨道的空间碎片，日月引力摄动和太阳光压等因素会对空间碎片轨道寿命产生重要影响。

##### 4.2 大气阻力

在进行空间碎片寿命预计时，应考虑大气阻力。可采用 ISO 14222 的地球大气模型，并根据空间碎片在轨寿命区间和太阳活动周期的相应情况选取合适的 F10.7 参数。对于预期寿命小于或接近太阳活动周期的可以根据太阳活动情况选取高年、中年、低年的 F10.7 参数；对于预期寿命远大于太阳活动周期的，可以选择标准大气模型或者选取平均的 F10.7 参数。

##### 4.3 日月引力摄动

对于一般的低轨道空间碎片的寿命预计来说，日月引力摄动的影响不大；对于偏心率大于 0.6 的大椭圆轨道空间碎片来说，日月引力摄动对轨道寿命有较大的影响。

##### 4.4 太阳光压摄动

对于一般的低轨道空间碎片的寿命预计来说，太阳光压摄动的影响不大；对于偏心率大于 0.6 的大椭圆轨道空间碎片来说，太阳光压摄动对轨道寿命有一定的影响。

##### 4.5 一般规定

4.5.1 对于近地点高度大于 2000km 的空间碎片，一般认为其轨道寿命无限长。

4.5.2 对于近地点高度小于 2000km 的大椭圆轨道空间碎片，其寿命受多种摄动因素影响，寿命预计比较复杂，推荐采用高精度数值预报方法。

4.5.3 本标准主要针对高度小于 2000km 的近地轨道空间碎片，推荐两种轨道寿命预计方法：解析法和微分—积分法。解析法计算速度很快，精度较低，但能预计空间碎片寿命的量级，适用于快速估计空间碎片的寿命；微分—积分法能保证一定的精度，计算效率较高，适用于一般情况下空间碎片寿命预计。

##### 4.6 轨道寿命预计参考值

图 1 给出了采用标准大气模型计算的轨道寿命预计参考值，其中弹道系数取典型值  $\beta=0.01$ 。

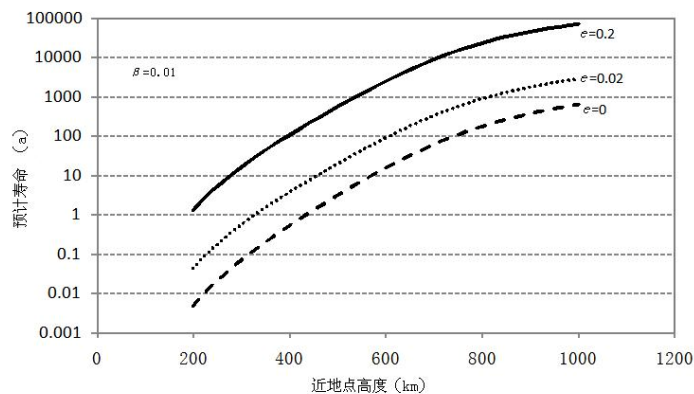


图 1 轨道寿命预计参考值

5 轨道寿命预计方法

5.1 解析法

5.1.1 轨道寿命  $L$  按  $e$  值的范围分为四种情况进行计算。其中  $a$ 、 $e$ 、 $H$ 、 $r_p$ 、 $T$ 、 $\rho_p$  均取初始时刻的参数：

a) 当  $e=0$  时，按公式 (1) 计算：

$$L = -\frac{3HT}{2a\dot{T}} \dots\dots\dots (1)$$

b) 当  $0 < e < 0.02$  时，按公式 (2) 计算：

$$L = -\frac{3eT}{4\dot{T}} \cdot \frac{I_0(Z)}{I_1(Z)} \left[ 1 + 2e \frac{I_1(Z)}{I_0(Z)} - \frac{9eZ}{40} + \frac{H}{2a} \right] \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$I_n(Z)$  ——  $n$  阶贝塞尔函数， $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ；

$Z$  —— 中间变量，由公式 (3) 确定。

$$Z = ae/H \dots\dots\dots (3)$$

c) 当  $0.02 \leq e < 0.2$  时，按公式 (4) 计算：

$$L = -\frac{3eT}{4\dot{T}} \cdot \frac{I_0(Z)}{I_1(Z)} \left[ 1 + 2e \frac{I_1(Z)}{I_0(Z)} - \frac{5e}{6} + \frac{5e^2}{16} + \frac{7H}{8a} \right] \dots\dots\dots (4)$$

d) 当  $e \geq 0.2$  时，按公式 (5) 计算：

$$L = -\frac{eT}{\dot{T}} F(e) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$F(e)$  —— 中间变量，由公式 (6) 确定。

$$F(e) = \frac{3(1-e)^{1/2} \cdot (1+e)^2}{8e^2} f(e) \cdot \left[ 1 - \frac{H(8e-3e^2-1)}{8r_p e(1+e)} \right] \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$f(e)$  —— 中间变量，由公式 (7) 确定。

$$f(e) = \frac{3+e}{(1+e)\sqrt{1-e}} - 3 - \frac{1}{\sqrt{2}} \ln \frac{\sqrt{2} + \sqrt{1-e}}{(\sqrt{2}+1)\sqrt{1+e}} \dots\dots\dots (7)$$

5.1.2 轨道周期变化率  $\dot{T}$  的求法：

a) 当  $e=0$  时，按公式 (8) 计算：

$$\dot{T} = -6\pi a \beta \rho_p \times 8.64 \times 10^7 \dots\dots\dots (8)$$

$\beta$  由公式 (9) 确定。

$$\beta = \frac{C_D A}{2m} \dots\dots\dots (9)$$

b) 当  $e > 0$  时，按公式 (10) 计算：

$$\dot{T} = -6\pi a \beta \rho_p \exp(-Z) \left[ I_0(Z) + 2eI_1(Z) + 0.75e^2(I_0(Z) + I_2(Z)) \right] \times 8.64 \times 10^7 \dots\dots\dots (10)$$

5.1.3 贝塞尔函数及其渐近展开式：

a) 贝塞尔函数见公式 (11)：

$$I_n(Z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp(Z \cos E) \cos(nE) dE \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$E$  ——自变量。

b) 贝塞尔函数的渐近展开式见公式 (12)：

$$I_n(Z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(Z/2)^{n+2k}}{k!(n+k)!} \dots\dots\dots (12)$$

### 5.2 微分—积分法

微分—积分法根据空间碎片的初始轨道半长轴和偏心率预计空间碎片的轨道寿命。

建立大气阻力对空间碎片道寿命影响的摄动方程,选择轨道半长轴和轨道偏心率的大气阻力摄动方程来分析计算。大气阻力对轨道半长轴和偏心率的摄动方程式见公式 (13) 和公式 (14)。方程式 (13) 和 (14) 是一组特殊的微分方程,其右端包含定积分,在定积分的计算中利用 Kepler 轨道的各种关系,在一圈内(即在定积分中)近似取  $a, e$  为常数,  $\mu=3.986005 \times 10^5 \text{km}^3/\text{s}^2$ 。

$$\frac{da}{dt} = -\frac{\beta}{\pi\mu\sqrt{1-e^2}} \int_0^{2\pi} r^2 v^3 \rho d\theta \dots\dots\dots (13)$$

$$\frac{de}{dt} = -\frac{\beta}{\pi a^2 \sqrt{1-e^2}} \int_0^{2\pi} r^2 v(e + \cos\theta) \rho d\theta \dots\dots\dots (14)$$

$r$  由公式 (15) 确定;  $v$  由公式 (16) 确定。

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\theta} \dots\dots\dots (15)$$

$$v = \sqrt{\mu\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)} \dots\dots\dots (16)$$

用数值法求解微分方程组,  $a, e$  从初始值到满足终端条件(陨落或者再入稠密大气层)所经过的时间,即为空间碎片的寿命  $L$ 。计算过程中选择的固定步长为  $\Delta a$ , 由公式 (17) 得到时间步长  $\Delta t$ ：

$$\Delta t = \frac{\Delta a}{da/dt} \dots\dots\dots (17)$$

### 6 说明事项

轨道寿命的起始时刻可根据计算所采用的初始轨道数据对应的历元时刻确定。

中华人民共和国航天行业标准  
**空间碎片轨道寿命预计**

QJ 20128A—2018

\*

中国航天标准化研究所出版  
北京市丰台区小屯路 89 号

邮政编码：100071

中国航天标准化研究所  
印务发行部印刷、发行

**版权专有 不得翻印**

\*

2018 年 5 月出版

定价：14 元