

# 非参数统计方法在探究木星卫星的分布规律中的应用

高发宝, 刘霞

扬州大学数学科学学院, 江苏 扬州  
Email: gaofabao@sina.com

收稿日期: 2020年10月6日; 录用日期: 2020年10月21日; 发布日期: 2020年10月28日

---

## 摘要

被誉为“小太阳系”的木星系统拥有多达79颗卫星, 其中有54颗不规则卫星隶属于木星卫星的三大卫星群, 即Ananke群、Carme群和Pasiphae群。本文运用非参数统计方法分别对这三个卫星群中木星卫星的物理特征和轨道特征的分布规律进行推理分析, 其中物理特征主要包括: 赤道半径、体积、赤道周长、表面重力加速度、表面积、质量和逃逸速度, 轨道特征主要涉及: 半长轴、倾角、偏心率、近拱点幅角、升交点经度和周期。本文结果表明木星卫星的特征主要服从Loglogistic分布和Stable分布, 尤其是Ananke群和Carme群中的木星卫星的物理特征的分布规律呈现出令人惊喜的一致性。

## 关键词

木星卫星, 分布规律, Kolmogorov-Smirnov检验

---

# Application of Nonparametric Statistical Method in Exploring the Distributions of Jupiter's Satellites

Fabao Gao, Xia Liu

School of Mathematical Science, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu  
Email: gaofabao@sina.com

Received: Oct. 6<sup>th</sup>, 2020; accepted: Oct. 21<sup>st</sup>, 2020; published: Oct. 28<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

The Jupiter system, known as the “small solar system”, has as many as 79 satellites, among which 54 irregular satellites belong to the three major groups of Jupiter's satellites, namely, Ananke,

Carme group, and Pasiphae group. In this paper, the nonparametric statistical method is used to analyze the distribution of physical characteristics and orbital characteristics of Jupiter satellites in these three satellite groups. The physical characteristics typically include equatorial radius, volume, equatorial circumference, surface gravity, surface area acceleration, mass, and escape velocity. Orbital characteristics usually involve semimajor axis, inclination angle, eccentricity, and argument of periapsis, longitude of the ascending node and period. The results show that Jupiter satellites' characteristics mainly obey Loglogistic distribution and Stable distribution, especially the physical characteristics of Jupiter satellites in the Ananke group and Carme group show a surprising consistency.

## Keywords

Jupiter's Moons, Distribution Law, Kolmogorov-Smirnov Test

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

太阳系中拥有众多卫星的木星系统被誉为“小太阳系”，这不仅因为木星是太阳系中最大的行星，其物质结构与太阳系相似，而且木星卫星的运动也与太阳系中的行星极其相似。随着天文观测技术的发展，越来越多的木星卫星被人类所发现。随着 2018 年 7 月美国卡内基科学研究所[1]宣布新发现了 12 颗木星卫星使其总数飙升至 79 颗，包括 8 颗规则卫星和 71 颗倾角和偏心率较大的不规则卫星(其中 54 颗属于木星的三大卫星群：Ananke 群、Carme 群和 Pasiphae 群)，相信今后还有更多的木星卫星以待发现。规则卫星的轨道半长轴近似符合 Titius-Bode 定则，这是德国数学教师 Titius 和天文学家 Bode 对太阳系中的行星分布提出的一个定则，给出了行星和太阳之间的距离。有的卫星同它所属行星的平均距离也有类似的规律性，比如部分木星不规则卫星、部分土星卫星等。

2007 年，潘彩娟[2]采集了木星系中比较大的 16 颗卫星的一些数据，包括轨道偏心率、轨道半长轴、质量、绕木星的公转周期等。通过对这些数据进行对数转换，并在对数坐标系中描绘曲线，结果发现这些木星卫星绕木星质心的轨道半径与绕木星转动的周期呈直线关系。2009 年，她根据已探测到的 35 颗不规则逆行木星卫星群的有关数据，在其母体分裂前相对木星的运动轨道为圆锥曲线的前提条件下，忽略木星的自转及其他星体摄动的影响，利用力学公式估算出不规则逆行木星卫星的 Ananke 群母体、Carme 群母体和 Pasiphae 群母体的动力学参量[3]。近年来，随着统计学理论在天文学领域内对数据处理、分析及预测的进一步发展[4]，Gao 和 Liu 等人[5] [6] [7] [8] [9]主要利用单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验，通过对卫星数据的分析，研究木星不规则卫星 Carme 群、Ananke 群和 Pasiphae 群的物理特征及轨道特征的分布规律，发现它们主要分别服从 Loglogistic 分布、Logistic 分布、 $t$  location-scale 分布和 Stable 的分布。

本文将主要运用非参数统计研究木星卫星的分布规律。

## 2. 研究方法

基于美国卡内基科学研究所公布的木星卫星的物理特征和轨道特征的天文数据(详见附录 A-F)，我们根据统计学中常见的 19 种连续型分布：Beta 分布、Birnbau-Saunders 分布、Exponential 分布、Extreme Value 分布、Gamma 分布、Generalized Extreme Value 分布、Generalized Pareto 分布、Half Normal 分布、

Logistic 分布、Loglogistic 分布、Lognormal 分布、Nakagami 分布、Normal 分布、Poisson 分布、Rayleigh 分布、Rician 分布、Stable 分布、 $t$  location-Scale 分布和 Weibull 分布, 使用区间估计来估计相应的参数值, 并依次进行 Kolmogorov-Smirnov(K-S)检验, 检验的结果利用“ $p$  值法”来表示, 进而根据  $p$  值筛选出符合该特征的最佳分布。单样本 K-S 检验是比较经验分布  $F_n(x)$  与理论分布  $F(x)$  的一种非参数检验方法。作为非参数检验, K-S 检验不需要事先知道其总体分布, 相较于常规的  $\chi^2$  检验, K-S 检验不需要对观测值进行分组, 并且适合样本容量较小的情况。利用“ $p$  值法”得到的检验结果更加直观,  $p$  值越大, 那么我们就越有理由认为木星卫星的物理或轨道特征服从相应的理论分布。

### 3. 三大卫星群的物理特征及轨道特征的分布

#### 3.1. Ananke 群中木星卫星的物理特征及轨道特征的分布情况

基于单样本 K-S 检验, 从经过检验的 19 种分布中, 筛选出  $p$  值最大的那个分布,  $p$  值越接近于 1, 木星卫星的物理特征和轨道特征服从相应分布的可能性就越大, 由此我们得到了 Ananke 群的物理特征及轨道特征的分布情况如表 1 所示, 7 个物理特征均服从 Loglogistic 分布。从  $p$  值来看, 除了表面重力加速度最佳分布的  $p$  值略小于 0.5 外, 其他 6 个物理特征对应的  $p$  值均在 0.8 左右。很显然, 检验的 19 个理论分布中, Loglogistic 分布更适合描述 Ananke 群的物理特征的分布。此外赤道半径、赤道周长、体积和表面积的最佳分布的  $p$  值相近, 近似等于 0.83, 这是因为赤道半径和赤道周长之间存在线性关系, 并且赤道半径与体积以及表面积之间也相互关联。Ananke 群的 7 个轨道特征的中有 3 个轨道特征的最佳分布是 Stable 分布, 并且相应的  $p$  值也均大于 0.9。

**Table 1.** Best-fitting distribution of physical and orbital characteristics of Ananke group

**表 1.** Ananke 群各物理特征及轨道特征的最佳分布

特征	分布类型	参数	置信区间	$p$ 值
赤道半径(km)	Loglogistic	$\mu = 0.582917$ $\sigma = 0.364002$	$\mu \in [0.23278, 0.933054]$ $\sigma \in [0.225066, 0.588705]$	0.83
赤道周长(km)	Loglogistic	$\mu = 2.42182$ $\sigma = 0.363511$	$\mu \in [2.07218, 2.77145]$ $\sigma \in [0.224753, 0.587933]$	0.83
体积(km <sup>3</sup> )	Loglogistic	$\mu = 3.17586$ $\sigma = 1.10596$	$\mu \in [2.11064, 4.24108]$ $\sigma \in [0.684312, 1.7874]$	0.83
表面积(km <sup>2</sup> )	Loglogistic	$\mu = 3.69694$ $\sigma = 0.727939$	$\mu \in [2.99674, 4.39715]$ $\sigma \in [0.45009, 1.17731]$	0.83
表面重力加速度(m/s <sup>2</sup> )	Loglogistic	$\mu = -6.41229$ $\sigma = 0.337578$	$\mu \in [-6.74044, -6.08413]$ $\sigma \in [0.210095, 0.542414]$	0.48
质量(kg)	Loglogistic	$\mu = 31.8851$ $\sigma = 1.00964$	$\mu \in [30.921, 32.8493]$ $\sigma \in [0.621833, 1.63929]$	0.78
逃逸速度(km/h)	Loglogistic	$\mu = 2.10984$ $\sigma = 0.329425$	$\mu \in [1.79575, 2.42393]$ $\sigma \in [0.202763, 0.535212]$	0.77
半长轴(km)	Stable	$\alpha = 1.32899$	$\alpha \in [0, 2]$	0.91
		$\beta = -1$	$\beta \in [-1, 1]$	
		$c = 211134$	$c \in [0, +\infty]$	
		$\mu = 2.10713 \times 10^7$	$\mu \in [-\infty, +\infty]$	

Continued

平均倾角(°)	Stable	$\alpha = 1.42053$	$\alpha \in [0.746773, 2]$	0.91
		$\beta = -0.205584$	$\beta \in [-1, 0.999048]$	
		$c = 1.62162$	$c \in [0.8027, 2.44053]$	
		$\mu = 148.744$	$\mu \in [147.487, 150.002]$	
平均偏心率	Extreme Value	$\mu = 0.235049$	$\mu \in [0.213908, 0.256189]$	0.49
		$\sigma = 0.0444536$	$\sigma \in [0.0318622, 0.0620209]$	
近拱点幅角(°)	Loglogistic	$\alpha = 5.10234$	$\alpha \in [4.79185, 5.41282]$	0.65
		$\beta = 0.374292$	$\beta \in [0.258487, 0.541979]$	
升交点经度(°)	Generalized Extreme Value	$k = -0.784386$	$K \in [-1.1982, -0.370575]$	0.71
		$\sigma = 127.426$	$\sigma \in [79.4528, 204.364]$	
		$\mu = 188.251$	$\mu \in [124.222, 252.28]$	
周期(天)	Stable	$\alpha = 1.20629$	$\alpha \in [0, 2]$	0.99
		$\beta = -1$	$\beta \in [-1, 1]$	
		$c = 8.28652$	$c \in [0, +\infty]$	
		$\mu = 624.981$	$\mu \in [-\infty, +\infty]$	

### 3.2. Carme 群各物理特征及轨道特征的分布情况

由表 2 可知, Carme 群中除了逃逸速度的最佳分布是  $t$  Location-Scale 分布外, 其它物理特征的最佳分布均服从 Loglogistic 分布。表面重力加速度服从 Loglogistic 分布,  $p$  值只有 0.06, 其 6 个物理特征最佳分布的  $p$  值均在 0.6 左右。由于赤道半径、赤道周长、体积和表面积之间相互关联, 因此从表 2 中也可以发现, 这 4 个物理特征的最佳分布的  $p$  值在 0.67 上下波动。Carme 群中的半长轴、平均倾角、平均偏心率和周期的最佳分布均为 Stable 分布, 相应的  $p$  值均大于 0.9, 甚至达到了理想数值 1, 周期的最佳分布的  $p$  值甚至达到了 0.99。近拱点幅角服从 Generalized Extreme Value 分布, 升交点经度服从 Loglogistic 分布, 平近点角服从 Generalized Pareto 分布, 这 3 个轨道特征的  $p$  值都在 0.8 左右。

**Table 2.** Best-fitting distribution of physical and orbital characteristics of Carme group

**表 2.** Carme 群各物理特征及轨道特征的最佳分布

特征	分布类型	参数	置信区间	$p$ 值
赤道半径(km)	Loglogistic	$\mu = 0.500116$	$\mu \in [0.191027, 0.809204]$	0.67
		$\sigma = 0.345753$	$\sigma \in [0.21508, 0.555817]$	
赤道周长(km)	Loglogistic	$\mu = 2.33795$	$\mu \in [2.0297, 2.6462]$	0.66
		$\sigma = 0.344919$	$\sigma \in [0.214533, 0.55455]$	
体积(km <sup>3</sup> )	Loglogistic	$\mu = 2.9226$	$\mu \in [1.98296, 3.86223]$	0.68
		$\sigma = 1.04959$	$\sigma \in [0.653374, 1.68606]$	
表面积(km <sup>2</sup> )	Loglogistic	$\mu = 3.53128$	$\mu \in [2.91317, 4.14939]$	0.67
		$\sigma = 0.691438$	$\sigma \in [0.430115, 1.11153]$	
表面重力加速度(m/s <sup>2</sup> )	Loglogistic	$\mu = -6.69388$	$\mu \in [-6.97911, -6.40864]$	0.06
		$\sigma = 0.319434$	$\sigma \in [0.197127, 0.517626]$	

## Continued

质量(kg)	Loglogistic	$\mu = 31.6362$ $\sigma = 0.956765$	$\mu \in [30.7891, 32.4832]$ $\sigma \in [0.59232, 1.54545]$	0.58
逃逸速度(km/h)	t Location-Scale	$\mu = 7.08058$ $\sigma = 1.51796$ $v = 0.993412$	$\mu \in [5.84963, 8.31154]$ $\sigma \in [0.660915, 3.4864]$ $v \in [0.403482, 2.44588]$	0.60
半长轴(km)	Stable	$\alpha = 0.987755$ $\beta = 0.0533906$ $c = 112441$ $\mu = 2.32477 * 10^7$	$\alpha \in [0, 2]$ $\beta \in [-1, 1]$ $c \in [0, +\infty]$ $\mu \in [-\infty, +\infty]$	0.95
平均倾角(°)	Stable	$\alpha = 0.835022$ $\beta = -0.329864$ $c = 0.242389$ $\mu = 165.084$	$\alpha \in [0.424668, 1.24538]$ $\beta \in [-0.948243, 0.288516]$ $c \in [0.147881, 0.336898]$ $\mu \in [164.949, 165.219]$	0.97
平均偏心率	Stable	$\alpha = 1.27463$ $\beta = 0.000476987$ $c = 0.0119451$ $\mu = 0.256685$	$\alpha \in [0.66043, 1.88884]$ $\beta \in [-1, 1]$ $c \in [0.00554199, 0.0183482]$ $\mu \in [0.248013, 0.265357]$	1.00
近拱点幅角(°)	Generalized Extreme Value	$k = -0.459188$ $\sigma = 119.284$ $\mu = 149.7$	$K \in [-0.987774, 0.0693978]$ $\sigma \in [76.1928, 186.747]$ $\mu \in [86.0337, 213.366]$	0.81
升交点经度(°)	Loglogistic	$\alpha = 5.00721$ $\beta = 0.477994$	$\alpha \in [4.62636, 5.38805]$ $\beta \in [0.330581, 0.6911419]$	0.78
周期(天)	Stable	$\alpha = 0.940971$ $\beta = 0.163918$ $c = 6.45023$ $\mu = 724.273$	$\alpha \in [0, 2]$ $\beta \in [-1, 1]$ $c \in [0, +\infty]$ $\mu \in [-\infty, +\infty]$	0.99

## 3.3. Pasiphae 群各物理特征及轨道特征的分布情况

在 Pasiphae 群中(详见表 3), 赤道半径、赤道周长、表面重力加速度以及逃逸速度的最佳分布是 Loglogistic 分布, 体积服从 Generalized Pareto 分布。由于赤道半径、赤道周长、体积和表面积之间相互依赖, Ananke 群和 Carme 群中均服从 Loglogistic 分布, 且各自的  $p$  值分别近似等于 0.8 和 0.66。但在 Pasiphae 群中的分布情况有些不同, 其赤道半径和赤道周长服从 Loglogistic 分布,  $p$  值近似等于 0.66, 但是体积和表面积分别服从的是从 Generalized Pareto 分布和 Inverse Gaussian 分布, 并且两者的  $p$  值均大于 0.66。该群中木星卫星的轨道特性的最佳分布与其它两个卫星群明显不同。在 Pasiphae 群中, 半长轴服从 Extreme Value 分布, 而 Ananke 群和 Carme 群对应的最佳分布均是 Stable 分布。平均倾角服从 Gaussian 分布, 平均偏心率服从 Birnbaum-Saunders 分布。近拱点幅角和周期都服从 Generalized Extreme Value 分布, 升交点经度和平近点角均服从 Stable 分布。从 Pasiphae 群的轨道特征的  $p$  值来看, 半长轴, 平均倾角以及轨道周期的  $p$  值达到了令人惊喜的 1。

**Table 3.** Best-fitting distribution of physical and orbital characteristics of Pasiphae group  
**表 3.** Pasiphae 群各物理特征及轨道特征的最佳分布

特征	分布类型	参数	置信区间	<i>p</i> 值
赤道半径(km)	Loglogistic	$\mu = 0.802683$ $\sigma = 0.59951$	$\mu \in [0.193211, 1.41215]$ $\sigma \in [0.358041, 1.0038]$	0.66
赤道周长(km)	Loglogistic	$\mu = 2.64143$ $\sigma = 0.599202$	$\mu \in [2.03226, 3.2506]$ $\sigma \in [0.357861, 1.0033]$	0.66
体积(km <sup>3</sup> )	Generalized Pareto	$k = 2.99649$ $\sigma = 17.5719$ $\theta = 0$	$k \in [0.797871, 5.19512]$ $\sigma \in [4.20131, 73.4945]$ $\theta = 0$	0.88
表面积(km <sup>2</sup> )	Inverse Gaussian	$\mu = 1487.72$ $\lambda = 30.7839$	$\mu \in [-4624.14, 7599.58]$ $\lambda \in [5.05682, 56.511]$	0.74
表面重力加速度(m/s <sup>2</sup> )	Loglogistic	$\mu = -6.2884$ $\sigma = 0.555284$	$\mu \in [-6.85117, 5.72564]$ $\sigma \in [0.331098, 0.931266]$	0.44
质量(kg)	Inverse Gaussian	$\mu = 3.41874 * 10^{16}$ $\lambda = 4.03647 * 10^{13}$	$\mu \in [-5.53893 * 10^{17}, 6.22268 * 10^7]$ $\lambda \in [6.63069 * 10^{12}, 7.40988 * 10^{17}]$	0.85
逃逸速度(km/h)	Loglogistic	$\mu = 2.32956$ $\sigma = 0.570971$	$\mu \in [1.75079, 2.90834]$ $\sigma \in [0.339631, 0.959888]$	0.58
半长轴(km)	Extreme Value	$\mu = 2.38737 * 10^7$ $\sigma = 493901$	$\mu \in [2.36096e * 10^7, 2.41378 * 10^7]$ $\sigma \in [334031, 730286]$	1.00
平均倾角(°)	Gaussian	$\mu = 151.213$ $\sigma = 4.33208$	$\mu \in [148.814, 153.612]$ $\sigma \in [3.17163, 6.83213]$	1.00
平均偏心率	Birnbaum-Sauders	$\beta = 0.33437$ $\gamma = 0.24734$	$\beta \in [0.292838, 0.375902]$ $\gamma \in [0.158832, 0.335847]$	0.73
近拱点幅角(°)	Generalized Extreme Value	$k = 0.829357$ $\sigma = 50.6921$ $\mu = 87.4714$	$k \in [-0.171729, 1.83044]$ $\sigma \in [23.1042, 111.222]$ $\mu \in [51.4714, 123.471]$	0.57
升交点经度(°)	Stable	$\alpha = 0.759928$ $\beta = -1$ $c = 18.0216$ $\mu = 309.064$	$\alpha \in [0, 2]$ $\beta \in [-1, 1]$ $c \in [0, +\infty]$ $\mu \in [-\infty, +\infty]$	0.98
周期(天)	Generalized Extreme Value	$k = -0.460585$ $\sigma = 26.9631$ $\mu = 729.292$	$k \in [-0.825924, -0.095246]$ $\sigma \in [17.6755, 41.1308]$ $\mu \in [714.26, 744.325]$	1.00

#### 4. 总结

通过将三个卫星群中所有木星卫星特征的最佳分布汇总于表 4, 我们发现木星卫星的物理特征主要服从 Loglogistic 分布, 轨道特征主要服从 Stable 分布。此外, 不难发现 Ananke 群和 Carme 群的物理特

**Table 4.** Summary of best-fitting distribution of physical and orbital characteristics of three satellite groups  
**表 4.** 三个卫星群物理特征和轨道特征最佳分布汇总

特征	Ananke 群	Carme 群	Pasiphae 群
赤道半径(km)	Loglogistic	Loglogistic	Loglogistic
赤道周长(km)	Loglogistic	Loglogistic	Loglogistic
体积(km <sup>3</sup> )	Loglogistic	Loglogistic	Generalized Pareto
表面积(km <sup>2</sup> )	Loglogistic	Loglogistic	Inverse Gaussian
表面重力加速度(m/s <sup>2</sup> )	Loglogistic	Loglogistic	Loglogistic
质量(kg)	Loglogistic	Loglogistic	Inverse Gaussian
逃逸速度(km/h)	Loglogistic	<i>t</i> Location-Scale	Loglogistic
半长轴(km)	Stable	Stable	Extreme Value
平均倾角(°)	Stable	Stable	Gaussian
平均偏心率	Extreme Value	Stable	Birnbaum-Saunders
近拱点幅角(°)	Loglogistic	Generalized Extreme Value	Generalized Extreme Value
升交点经度(°)	Generalized Extreme Value	Loglogistic	Stable
周期(天)	Stable	Stable	Generalized Extreme Value

征以及轨道有着相似分布, Pasiphae 群中木星卫星的特征分布虽然不如其他两个群那样富有规律性, 但根据“*p* 值法”, 它的最佳分布是可信的。相信对于木星不规则卫星展开研究, 不仅有助于我们掌握其分布规律, 发现新的卫星, 而且有助于我们接下来建立全新的卫星动力学方程, 继而深入研究其非线性动力学行为, 为人们探索木星不规则卫星的起源提供理论基础。

## 基金项目

国家自然科学基金项目(No. 11672259)和国家留学基金项目(No. 201908320086)资助。

## 参考文献

- [1] Sheppard, S.S., Williams, G.V., Tholen D.J., *et al.* (2018) New Jupiter Satellites and Moon-Moon Collisions. *Research Notes of the AAS*, **2**, 155. <https://doi.org/10.3847/2515-5172/aadd15>
- [2] 潘彩娟. 利用双对数坐标图研究木星卫星的一些力学特征[J]. *大学物理*, 2007, 26(10): 18-19+23.
- [3] 潘彩娟. 不规则逆行木卫群母体的动力学参量估算[J]. *力学与实践*, 2009, 31(3): 87-89.
- [4] Bendre, S.M. (2013) Non-Parametric Statistics. *The 4th IIA-Penn State Astrostatistics School, Vainu Bappu Observatory, Indian Institute of Astrophysics*, Kavalur, 22nd-29th July 2013.
- [5] Gao, F.B. and Liu, X. (2020) Revisiting the Distributions of Jupiter's Irregular Moons: I. Physical Characteristics. arXiv preprint arXiv: 2003.04810v3.
- [6] Gao, F.B. and Liu, X. (2020) Revisiting the Distributions of Jupiter's Irregular Moons: II. Orbital Characteristics. arXiv preprint arXiv: 2003.04851v3.
- [7] 高发宝, 刘霞. 木星卫星平均轨道距离及平均半长轴的分布规律[C]//中国数学力学物理学高新技术交叉研究学会. 数学力学物理学高新技术交叉研究进展, 中国交叉科学学会第十七届学术年会. 呼伦贝尔: 中国交叉科学学会, 2018: 78-81.
- [8] Gao, F.B., Zhu, X.H., Liu, X. and Wang, R.F. (2018) Distribution Inference for Physical and Orbital Properties of the Jupiter's Moons. *Advances in Astronomy*, **2018**, Article ID: 1894850. <https://doi.org/10.1155/2018/1894850>
- [9] 刘霞. 木星卫星的物理特征及轨道特征的分布规律[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2020.



## 附录

## 附录 A. Ananke 群中木星卫星的物理特征

序号	神话名	编号	赤道半径 (km)	赤道周长 (km)	体积 (km <sup>3</sup> )	表面积 (km <sup>2</sup> )	质量 (kg)	逃逸速度 (km/h)	表面重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )
XXXIV	Euporie	S/2001 J10	1	6.3	4	12.57	14,986,684,330,972	5	0.001
XXXIII	Euanthe	S/2001 J7	1.5	9.4	14	28.27	44,960,052,992,916	7	0.001
XXXV	Orthosie	S/2001 J9	1	6.3	4	12.57	14,986,684,330,972	5	0.001
XXIX	Thyone	S/2001 J2	2	12.6	34	50.27	89,920,105,985,832	9	0.002
XL	Mneme	S/2003 J21	1	6.3	4	12.57	14,986,684,330,972	5	0.001
XXII	Harpalyke	S/2000 J5	2.2	13.8	45	60.82	119,893,474,647,775	10	0.002
XXX	Hermippe	S/2001 J3	2	12.6	34	50.27	89,920,105,985,832	9	0.002
XXVII	Praxidike	S/2000 J7	3.4	21.4	165	145.27	434,613,845,598,186	15	0.003
XLII	Thelxinoe	S/2003 J22	1	6.3	4	12.57	14,986,684,330,972	5	0.001
XLV	Helike	S/2003 J6	2	12.6	34	50.27	89,920,105,985,832	9	0.002
XXIV	Iocaste	S/2000 J3	2.6	16.3	74	84.95	194,826,896,302,635	11	0.002
XII	Ananke	---	14	88	11494	2463.01	29,973,368,661,943,900	61	0.01
---	---	S/2017 J9	1	6.3	4	12.57	15,000,000,000,000	5	0.001
LV	---	S/2003 J18	1	6.3	4	12.57	15,000,000,000,000	5	0.001
LII	---	S/2010 J2	1	6.3	4	12.57	null	null	null
---	---	S/2017 J7	1	6.3	4	12.57	15,000,000,000,000	5	0.001
LIV	---	S/2016 J1	1.5	9.4	14	28.27	15,000,000,000,000	4	0.00045
---	---	S/2017 J3	1	6.3	4	12.57	15,000,000,000,000	5	0.001
LX	---	S/2003 J3	1	6.3	4	12.57	15,000,000,000,000	5	0.001

## 附录 B. Carme 群中木星卫星的物理特征

序号	神话名	编号	赤道半径 (km)	赤道周长 (km)	体积 (km <sup>3</sup> )	表面积 (km <sup>2</sup> )	质量 (kg)	逃逸速度 (km/h)	表面重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )
XLIII	Arche	S/2002 J1	1.5	9.4	14	28.27	44,960,052,992,916	7	0.001
XXXVIII	Pasithee	S/2001 J6	1	6.3	4	12.57	14,986,684,330,972	5	0.001
L	Herse	S/2003 J17	1	6.3	4	12.57	14,986,684,330,972	5	0.001
XXI	Chaldene	S/2000 J10	1.9	11.9	29	45.36	74,933,421,654,860	8	0.001
XXXVII	Kale	S/2001 J8	1	6.3	4	12.57	14,986,684,330,972	5	0.001
XXVI	Isonoe	S/2000 J6	1.9	11.9	29	45.36	74,933,421,654,860	8	0.001
XXXI	Aitne	S/2001 J11	1.5	9.4	14	28.27	44,960,052,992,916	7	0.001
XXV	Erinome	S/2000 J4	1.6	10.1	17	32.17	44,960,052,992,916	7	0.001
XX	Taygete	S/2000 J9	2.5	15.7	65	78.54	164,853,527,640,691	11	0.002
XI	Carme	---	23	144.5	50965	6647.61	131,882,822,112,553,000	100	0.017
XXIII	Kalyke	S/2000 J2	2.6	16.3	74	84.95	194,826,896,302,635	11	0.002
XLVII	Eukelade	S/2003 J1	2	12.6	34	50.27	89,920,105,985,832	9	0.002
XLIV	Kallichore	S/2003 J11	1	6.3	4	12.57	14,986,684,330,972	5	0.001
---	---	S/2011 J1	0.5	3.1	1	3.14	null	null	null



## Continued

---	---	S/2003 J19	1	6.3	4	12.57	15,000,000,000,000	5	0.001
---	---	S/2017 J5	1	6.3	4	12.57	15,000,000,000,000	5	0.001
---	---	S/2017 J8	0.5	3.1	1	3.14	15,000,000,000,000	7	0.004
---	---	S/2017 J2	1	6.3	4	12.57	15,000,000,000,000	5	0.001
LI	---	S/2010 J1	2	12.6	34	50.27	null	null	null
LVII	---	S/2003 J5	2	12.6	34	50.27	90,000,000,000,000	9	0.002

## 附录 C. Pasiphae 群中木星卫星的物理特征

序号	神话名	编号	赤道半径 (km)	赤道周长 (km)	体积 (km <sup>3</sup> )	表面积 (km <sup>2</sup> )	质量 (kg)	逃逸速度 (km/h)	表面重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )
XXXII	Eurydome	S/2001 J4	1.5	9.4	14	28.27	44,960,052,992,916	7	0.001
XXVIII	Autonoe	S/2001 J1	2	12.6	34	50.27	89,920,105,985,832	9	0.002
XXXVI	Sponde	S/2001 J5	1	6.3	4	12.57	14,986,684,330,972	5	0.001
VIII	Pasiphae	---	30	188.5	113097	11309.73	299,733,686,619,439,000	131	0.022
XIX	Megaclite	S/2000 J8	2.7	17	82	91.61	20,981,358,063,3607	12	0.002
IX	Sinope	---	19	119.4	28731	4536.46	74,933,421,654,859,700	83	0.014
XXXIX	Hegemone	S/2003 J8	1.5	9.4	14	28.27	44,960,052,992,916	7	0.001
XLI	Aoede	S/2003 J7	2	12.6	34	50.27	89,920,105,985,832	9	0.002
XVII	Callirrhoe	S/1999 J1	4.3	27	333	232.35	869,227,691,196,372	19	0.003
XLVIII	Cyllene	S/2003 J13	1	6.3	4	12.57	14,986,684,330,972	5	0.001
XLIX	Kore	S/2003 J14	1	6.3	4	12.57	14,986,684,330,972	5	0.001
---	---	S/2017 J6	1	6.3	4	12.57	15,000,000,000,000	5	0.001
LVIII	---	S/2003 J15	1	6.3	4	12.57	15,000,000,000,000	5	0.001
LVI	---	S/2011 J2	0.5	3.1	1	3.14	null	null	null
LIX	---	S/2017 J1	1	6.3	4	12.57	15,000,000,000,000	5	0.001

## 附录 D. Ananke 群中木星卫星的轨道特征

序号	神话名	编号	半主轴 (km)	平均倾角 (°)	平均偏心率	近拱点幅角 (°)	升交点经度 (°)	周期 (天)
XXXIV	Euporie	S/2001 J10	19,302,000	145.8	0.144	74.6	64.9	550.7
LV	---	S/2003 J18	20,274,000	146.4	0.105	98.15	215.5	588
LII	---	S/2010 J2	20,307,150	150.4	0.307	0	0	588.1
---	---	S/2017 J7	20,627,000	143.4	0.215	323.5	321.5	602.6
LIV	---	S/2016 J1	20,650,845	139.8	0.141	328.2	293.8	602.7
---	---	S/2017 J3	20,694,000	147.9	0.148	171.6	82.5	606.3
XXXIII	Euanthe	S/2001 J7	20,799,000	148.9	0.232	316	271	620.6
XXXV	Orthosie	S/2001 J9	20,721,000	145.9	0.281	230.5	223.6	622.6
XXIX	Thyone	S/2001 J2	20,940,000	148.5	0.229	89.1	243	627.3
XL	Mneme	S/2003 J21	21,069,000	148.6	0.227	41.7	18.1	620
XXII	Harpalyke	S/2000 J5	21,105,000	148.6	0.226	129.9	40	623.3

## Continued

XXX	Hermippe	S/2001 J3	21,131,000	150.7	0.21	298.7	347.2	633.9
XXVII	Praxidike	S/2000 J7	21,147,000	149	0.23	209.7	285.2	625.3
XLII	TheIxinoe	S/2003 J22	21,162,000	151.4	0.221	179.8	206.2	628.1
LX	---	S/2003 J3	21,199,710	148	0.253	109	292	627.8
XLV	Helike	S/2003 J6	21,263,000	154.8	0.156	314.7	100.3	634.8
XXIV	Iocaste	S/2000 J3	21,269,000	149.4	0.216	80	271.3	631.5
XII	Ananke	---	21,276,000	148.9	0.244	100.6	7.6	610.5
---	---	S/2017 J9	21,487,000	152.7	0.229	317.7	306.4	639.2

## 附录 E. Carme 群中木星卫星的轨道特征

序号	神话名	编号	半主轴 (km)	平均倾角 (°)	平均偏心率	近拱点幅角 (°)	升交点经度 (°)	周期 (天)
---	---	S/2003 J19	22,757,000	166.7	0.257	284.1	105.7	697.6
XLIII	Arche	S/2002 J1	22,931,000	165	0.259	161.1	350.7	723.9
XXXVIII	Pasithee	S/2001 J6	23,096,000	165.1	0.267	253.3	338.7	719.5
L	Herse	S/2003 J17	23,097,000	164.2	0.2	355.7	329	715.4
XXI	Chaldene	S/2000 J10	23,179,000	165.2	0.251	282.5	148.7	723.8
XXXVII	Kale	S/2001 J8	23,217,000	165	0.26	44.4	56.4	729.5
XXVI	Isonoe	S/2000 J6	23,217,000	165.2	0.246	145.6	149.8	725.5
XXXI	Aitne	S/2001 J11	23,231,000	165.1	0.264	122.2	24.5	730.2
---	---	S/2017 J5	23,232,000	164.3	0.284	11.9	118.2	719.5
---	---	S/2017 J8	23,232,700	164.7	0.312	45.1	160.3	719.6
XXV	Erinome	S/2000 J4	23,279,000	164.9	0.266	356	321.7	728.3
---	---	S/2017 J2	23,303000	166.4	0.236	231.9	74.7	723.1
LI	---	S/2010 J1	23,314,335	163.2	0.32	0	0	723.2
XX	Taygets	S/2000 J9	23,360,000	165.2	0.252	241.1	313.3	732.2
XI	Carme	---	23,404,000	164.9	0.253	28.2	113.7	702.3
XXIII	Kalyke	S/2000 J2	23,583,000	165.2	0.245	216.6	38.7	743
XLVII	Eukelade	S/2003 J1	23,661,000	165.5	0.272	325.6	206.3	746.4
LVII	---	S/2003 J5	23,731,770	163.1	0.22	160	256.3	759.7
XLIV	Kallichore	S/2003 J11	24,043,000	165.5	0.264	18.5	41.5	764.7
---	---	S/2011 J1	22,462,000	163.3	0.233	127.2	323.9	580.7

## 附录 F. Pasiphae 群中木星卫星的轨道特征

序号	神话名	编号	半主轴 (km)	平均倾角 (°)	平均偏心率	近拱点幅角 (°)	升交点经度 (°)	周期 (天)
---	---	S/2017 J6	22,455,000	155.2	0.557	77.3	26.3	683
LVIII	---	S/2003 J15	22,819,950	143.6	0.194	52.08	286.5	701.3
XXXII	Eurydome	S/2001 J4	22,865,000	150.3	0.276	241.6	307.4	717.3

**Continued**

XXVIII	Autonoe	S/2001 J1	23,039,000	152.9	0.334	60.2	275.6	762.7
LVI	---	S/2011 J2	23,463,885	148.8	0.332	341.9	105.2	730.5
XXXVI	Sponde	S/2001 J5	23,487,000	151	0.312	79.1	129.1	748.3
LIX	---	S/2017 J1	23,547,105	149.2	0.397	79.73	326.8	734.2
VIII	Pasiphae	---	23,624,000	151.4	0.409	170.5	313	708
XIX	Megaclite	S/2000 J8	23,806,000	152.8	0.421	302.3	304.6	752.8
IX	Sinope	---	23,939,000	158.1	0.25	346.4	303.1	724.5
XXXIX	Hegemone	S/2003 J8	23,947,000	155.2	0.328	235.4	327.6	739.6
XLI	Aoede	S/2003 J7	23,981,000	158.3	0.432	74.5	187.1	761.5
XVII	Callirhoe	S/1999 J1	24,102,000	147.1	0.283	49.3	281.1	758.8
XLVIII	Cyllene	S/2003 J13	24,349,000	149.3	0.319	214	266.4	737.8
XLIX	Kore	S/2003 J14	24,543,000	145	0.325	152.4	324.7	779.2