



Helene的Cassini ISS图像的天体测量

张庆丰^{1,2}, 熊语桃¹, 彭青玉^{1,2*}, 孟小华^{1,2}, 李展^{1,2}, 王娜^{1,2}

1. 暨南大学计算机科学系, 广州 510632;

2. 暨南大学天体测量、动力学和空间科学中法联合实验室, 广州 510632

*联系人, E-mail: tpengqy@jnu.edu.cn

收稿日期: 2018-07-25; 接受日期: 2018-09-21; 网络出版日期: 2018-12-07

国家自然科学基金委员会-中国科学院天文联合基金重点项目(编号: U1431227)、国家自然科学基金项目(编号: 11873026, 11403008, 11703008)、广东省自然科学基金项目(编号: 2016A030313092, 2014A030313374)、广东省教育厅高等学校科技创新项目(编号: 2013KJCX0020)、中央高校基本科研业务费专项资助和中山大学广东省计算科学重点实验室开放基金资助

摘要 Helene是土星的一颗小卫星, 因其暗弱和靠近土星环, 而致地面难以观测, 历史上观测数据非常少. Cassini ISS在2004–2017年间观测了大量Helene的图像, 本文对这些观测图像进行了天体测量工作. 具体地说, 我们先使用参考星对ISS相机的指向进行校正, 然后使用二维高斯法对Helene的量度坐标进行测量, 最后将该位置归算到Cassini为原点的国际天球参考架下的赤经、赤纬坐标. 并与JPL的历表SAT393进行了比较, 计算了位置残差. 我们对总计890幅图像进行了有效测量. 测量结果显示: 和SAT393相比, 赤经、赤纬方向的残差均差分别为0.23和-0.63 km, 标准差分别为3.48和2.23 km. 这个精度远超地面观测的精度, 显示了空间观测的优势.

关键词 Helene, 天体测量, 卡西尼, 光学成像系统, 历表

PACS: 95.10.Jk, 96.30.N-, 95.75.-z, 95.55.Fw, 95.75.Mn

1 引言

Cassini是专门对土星及其卫星系统进行探测的空间探测器. 从2004年7月抵近土星, 到2017年9月坠毁于土星大气层, 共进行了13年的土星科学探测工作. 其携带的光学成像系统(Imaging Science Subsystem, ISS)^[1]对众多的土星卫星进行了观测, 其中包括对土卫十二Helene的系统观测.

Helene的运行轨道比较特殊, 在Dione的拉格

朗日点上(L4点), 是Dione的特洛伊群的成员^[2], 在轨道研究、土星环的研究、卫星的起源等方面^[2-4]有重要的研究价值. 2001年McGhee^[5]利用哈勃望远镜(HST)1995年的观测资料对数据进行了归算, 并研究了Helene的轨道和物理参数. 2003年Oberti和Vienne^[6]对Helene的历表进行了修订, 2004年Jacobson^[7]根据地面和旅行者号的观测资料对Helene的轨道理论进行了开发, 为Cassini任务规划提供了基础. 2006年文献^[8]引

引用格式: 张庆丰, 熊语桃, 彭青玉, 等. Helene的Cassini ISS图像的天体测量. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 019502
Zhang Q F, Xiong Y T, Peng Q Y, et al. Astrometric reduction of Cassini ISS images of Helene (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2019, 49: 019502, doi: [10.1360/SSPMA2018-00269](https://doi.org/10.1360/SSPMA2018-00269)

入了初步的Cassini观测数据对Helene等卫星的重力场参数进行了修订. 2012年文献[9]构建了包含Helene在内的一些特洛伊卫星的自转模型, 并确定了参数. Helene的所有上述研究都需要以观测为基础, 天体测量的数据是这些研究的重要前提. Helene是一个18.5等的暗卫星, 其形状不规则, 尺寸很小, 半径大约是16 km, 其位置靠近土星环, 因此在地面观测较困难. Helene自1980年被Reitsema等人^[10]发现以来, 文献[11, 12]公开发表了1980–1985年间地面观测的233个数据; 文献[13, 14]发表了1992–1994年的一些地面观测数据. 2000年Veiga和Martins^[15]发表了1985–1987年在地面观测的22个Helene数据, 2003年Veiga等人^[16]发表了1995–1999年间的一些土星卫星地面观测数据, 其中包括Helene的37个地面观测结果. 2006年French等人^[17]发表了HST在1995–2004年间的175个有效观测数据. 此后一直没有Helene的观测数据公开发表. 总体来说Helene的观测数据发表较少, 地面观测有一定的难度. Cassini ISS图像用于天体测量的工作从文献[8]就已经开始. 2006年Cooper等人^[18]使用ISS图像进行了木星内卫星的位置归算, 这可以算是正式开始对ISS图像归算并发表数据. 2008年Cooper等人^[19]利用ISS图像发现了一个新的土星卫星Anthe, 并对其进行了天体测量和动力学研究. 2014年Cooper等人^[20]对土星的几个卫星的联合天象图像进行了归算, 指出利用这些图像可以更准确地得到卫星之间的相对距离. Tajeddine等人^[21, 22]则利用ISS图像对土星的一些主要卫星进行了归算. Zhang等人^[23]则对2013–2017年的Enceladus图像进行了归算, 并指出不同参考星表对测量结果的影响可以忽略. 此外, 从广泛的视角看, Cassini图像的天测结果对我国的深空探测导航能够提供重要的参考数据, Cassini图像的天测技术则为开展大规模多色测光与无缝光谱巡天的伴飞空间站的光学舱项目^[24–26]提供了技术储备. 从2004–2017年间, Cassini ISS对Helene进行了观测, 这为我们提供了珍贵的光学图像. 我们恰好利用这些观测对Helene进行了天体测量工作, 填补了这十多年Helene观测数据上的空白. 在第2部分, 我们介绍了Cassini ISS图像天体测量的方法, 第3部分介绍

了测量情况和结果, 第4部分给出了结论.

2 Helene的ISS图像的天体测量方法

与地面观测图像的处理并不完全相同, Cassini ISS图像的归算有一些特别的处理和归算步骤, 这是因为行星或卫星图像一般具有视面, 并且测量是以Cassini站心为原点. 遵照这种惯例, 我们对Helene实施了相同的处理步骤. 这里主要有两个步骤: 一个是ISS相机的指向校正, 一个是观测对象的中心定位. 下面分别给予简单介绍.

2.1 ISS相机的指向校正

对于每个Cassini ISS图像可以获得拍摄时刻的指向数据(A_0, D_0). 这个指向数据并不准确, 为了精确的天体测量, 必须进一步进行指向校正. 指向校正的基本步骤如下:

(1) 对恒星S在ICRF中的位置进行自行、视差、光行差、相对论效应等的校正, 得到观测时刻星体的天体测量位置(α, δ). 行星和卫星的位置根据历表也进行类似的校正, 获得观测时刻的天体测量位置. 后面为叙述方便将恒星、行星和卫星统一称为星体, 除非特殊说明, 一般不进行区分. (2) 根据心射投影(Gnomonic Projection)式(1)计算该星体在初始指向对应的切平面中的标准坐标(ξ, η):

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{\cos \delta \sin(\alpha - A_0)}{\sin D_0 \sin \delta + \cos D_0 \cos \delta \cos(\alpha - A_0)}, \\ \eta &= \frac{\cos D_0 \sin \delta - \sin D_0 \cos \delta \cos(\alpha - A_0)}{\sin D_0 \sin \delta + \cos D_0 \cos \delta \cos(\alpha - A_0)}. \end{aligned} \quad (1)$$

而后利用简单的线性变换式(2)建立标准坐标和图像中量度坐标之间的变换关系. 最终可以计算出每个星体在图像中的量度坐标(x, y):

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1/\rho & 0 \\ 0 & 1/\rho \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

式中, ρ 为图像像素的比例尺, 对于ISS的小视场相机(NAC)而言, $\rho = 1.2354 \text{ arcsec/pixel}$. x_0, y_0 是图像坐标原点平移到标准坐标原点的平移量. θ 是扭转角, 表达了ICRF的Z轴在图像上的投影和图像的X方

向之间的夹角. 上述过程及其参数等详细参见文献[21]. (3) 探测图像星, 测量它们在图像中的量度坐标, 并作几何畸变校正. 由于几何畸变对位置测量有较大的影响, 尤其是精确的几何畸变校正对位置测量有明显的提高^[27,28], 因此这里也对畸变进行了校正, 使用了较为简单的模型进行了处理^[21]. 最后寻找图像星和星表星之间的匹配, 将这些匹配的星表星作为参考星. (4) 以参考星为依据, 反复调整初始指向, 直到参考星计算出来的量度坐标和对应的图像星的量度坐标差距达到最小. 依据以上步骤可以得到准确的相机指向.

2.2 观测对象的中心定位

本文所测量的ISS图像中, Helene呈现为小的点源, 因此我们采用二维Gaussian拟合法^[29]测量其中心在图像中的量度坐标, 并进行几何校正, 然后得到Helene校正后的中心量度坐标. 根据这个位置 (x, y) , 以及修正后的相机指向 (A_1, D_1) , 使用式(3)和(4)可以计算出Helene在ICRF中的天体坐标 (α, δ) , 同样根据修订后的指向和Helene的历表, 还可以计算出Helene在图像中的量度坐标. 进而可以计算出图像测量中的像素误差, 以及ICRF中的赤经、赤纬方向的残差, 即各种(O-C).

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\rho & 0 \\ 0 & \rho \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$\alpha = A_1 + \arctan\left(\frac{\xi}{\cos D_1 - \eta \sin D_1}\right), \quad (4)$$

$$\delta = \arctan\left(\frac{\sin D_1 + \eta \cos D_1}{\sqrt{\xi^2 + (\cos D_1 - \eta \sin D_1)^2}}\right).$$

3 测量结果和分析

在 2004–2017 年之间, Cassini ISS共拍摄了 3808幅Helene图像, 我们成功归算了其中的890幅图像. 大量的相关图像不能归算, 有两个主要原因: 一是因为图像本身被污染、破坏, 导致Helene无法测量; 二是因为一些图像展示的是Helene的近景照片, 其中Helene明显呈现为不规则形状. 虽然用人工目测加手工作操作的方式能够得到Helene的中心,

由于照片为近距离拍摄, 总体测量精度也可能较高, 但其量度坐标的测量精度会较差. 未来我们将会开发一种合理、准确的测量方法对这一类图像进行测量, 以提供高质量的测量结果. 此外近景拍摄的图像中也存在一些找不到参考星的情况. 目前近景拍摄的图像暂时搁置, 没有测量. 图 1展示了一些典型的被污染而不能测量的图像. 图 2展示了一些Cassini ISS拍摄的Helene的近景照片, 可以看到其不规则的形状, 这些图像的准确测量是一个有待解决的问题. 我们所归算的典型图像展示在图 3中, 这些图像中, Helene为小方框中的白点, 可以看出我们所测量的Helene都是点源.

在测量中, 我们以Gaia DR2为参考星表对ISS相机指向进行校正, 以二维Gaussian拟合方法为定心算法, 最终测量了各个图像中Helene的中心位置, 并归算了它们对应的以Cassini ISS为原点的ICRF下的坐标 (α, δ) . 一些测量结果展示在表 1中(全表将可从此处下载: <https://astrometry.jnu.edu.cn/download/list.htm>). 每个图像的测量结果包括: 测量的图像名称, 图像拍摄的UTC中点时刻, 测量出来的Helene在ICRF中的赤经、赤纬坐标, 图像拍摄时刻相机指向的赤经、赤纬和扭转角, 测量出来的Helene在图像中的量度坐标 $(x$ 和 y 两个方向的坐标). 结果中给出了相机的指向, 就是为了在数据的利用过程中, 人们可以根据自己的需要选择不同的方式来使用数据. 人们既可以使用已经给出的赤经、赤纬数据, 也可以使用已经给出的指向和量度坐标数据进行再处理.

这些测量的位置和JPL的SAT393历表的计算结果进行了比较, 也就是先将SAT393给出的Helene位置换算到Cassini为站心的ICRF坐标下, 然后将测量位置 and 这个结果进行差值计算, 最终得到所有测量位置的O-C. 图 4–6反映了所有这些Helene图像测量的残差情况. 其中图 4展示了测量的图像中的量度坐标与根据指向和SAT393历表理论计算出来的量度坐标的差异, 这个残差用像素来衡量; 图 5反映了测量的Helene的ICRF坐标和SAT393给出的坐标的差异情况, 按角秒为单位展示; 图 6给出了将角秒残差转换为距离的情况, 展示了以千米数为单位的残差图. 表 2给出了这些残差的统计结果. 可以看到,



图1 一些污染的Helene的图像
Figure 1 Some samples of degraded Helene's images.



图2 一些典型的显示出非规则形状的Helene的图像
Figure 2 Some samples of Helene's images that can not be measured due to irregular shape.



图3 一些可测量的Helene图像的例子. Helene为方框中的白点
Figure 3 Some samples of measurable images of Helene. The white dot in the box is Helene.

表 1 Helene归算结果的数据样本(全表可从此处下载: <https://astrometry.jnu.edu.cn/paper/main.htm>或者https://drive.google.com/drive/folders/1JZy9TqRqUhF_IzdX9jG6QrsGvZSCOcGj?usp=sharing)

Table 1 A sample of results of the astrometry reduction of Helene (The complete data is available at <https://astrometry.jnu.edu.cn/paper/main.htm> or https://drive.google.com/drive/folders/1JZy9TqRqUhF_IzdX9jG6QrsGvZSCOcGj?usp=sharing)

图像名称	拍摄的中点时刻(UTC)	观测对象	赤经 (°)	赤纬 (°)	指向的赤经 (°)	指向的赤纬 (°)	指向的扭转角 (°)	图像坐标x (pixels)	图像坐标y (pixels)
N1465324268	2004-159T18:07:06.429	Helene	37.290905	10.323761	37.266030	10.240122	109.988787	716.08	361.21
N1485295098	2005-024T21:32:06.320	Helene	31.984132	-2.150817	31.997444	-2.220299	111.663965	713.90	472.79
N1518375220	2006-042T18:23:55.285	Helene	30.292168	-6.296100	30.300339	-6.299670	108.019773	528.71	530.78
N1573720533	2007-318T07:59:54.291	Helene	218.178530	0.609929	218.171870	0.615057	166.650283	489.12	521.54
N1635283309	2009-299T20:38:54.132	Helene	290.433807	1.786685	290.532523	1.806131	265.469134	590.66	229.50
N1648397795	2010-086T15:32:05.663	Helene	284.912679	2.477134	284.775129	2.452988	264.176217	400.89	902.68
N1689831229	2011-201T04:44:42.613	Helene	240.641504	5.847256	240.639259	5.845803	267.634850	507.00	517.88
N1784047651	2014-195T15:48:25.559	Helene	218.521876	5.869331	218.511844	5.858087	316.370837	509.98	555.31

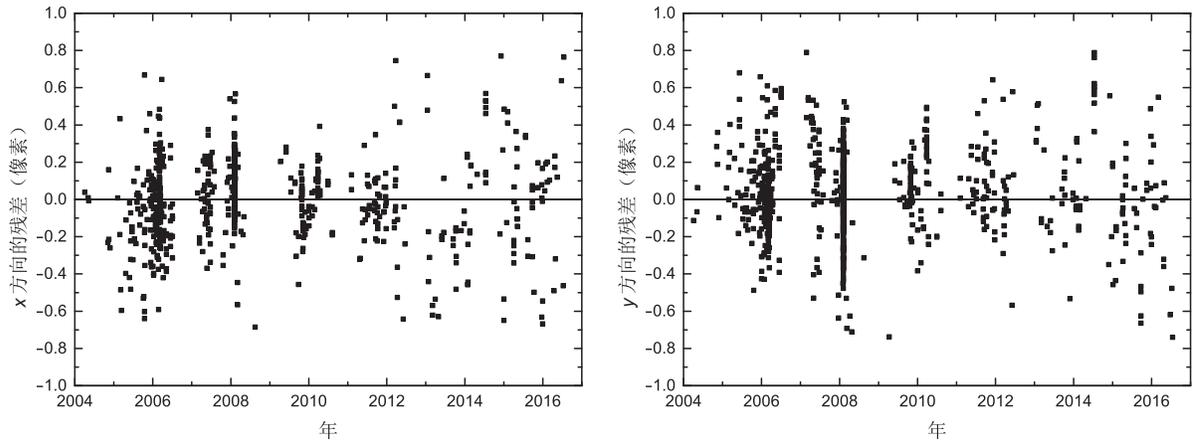


图 4 Helene的测量结果在x和y方向的残差, 像素为单位

Figure 4 Residual for all Helene's results in x, y direction respectively, in pixel.

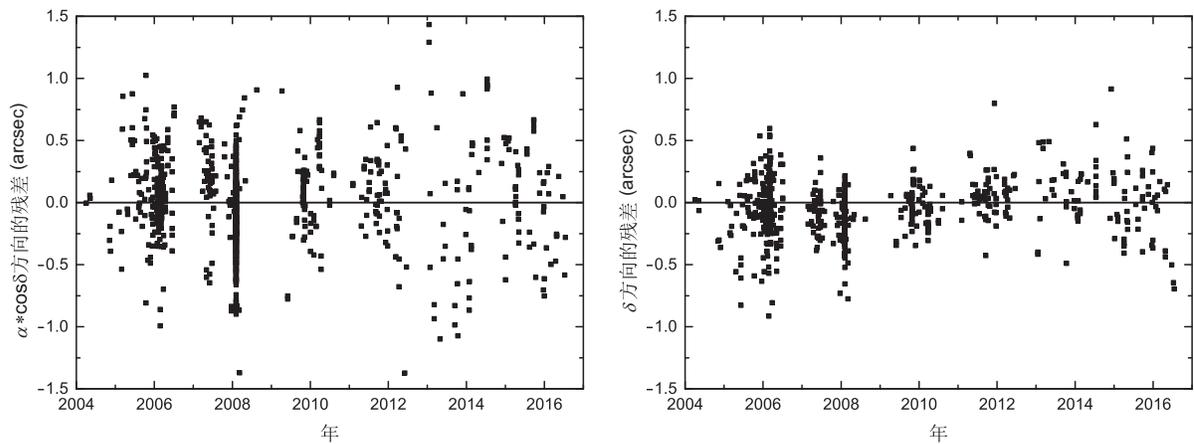


图 5 Helene的测量结果在 $\alpha * \cos \delta$ 和 δ 方向的残差, 单位为角秒

Figure 5 Residual for all Helene's results in $\alpha * \cos \delta$, δ direction respectively, in arcsec.

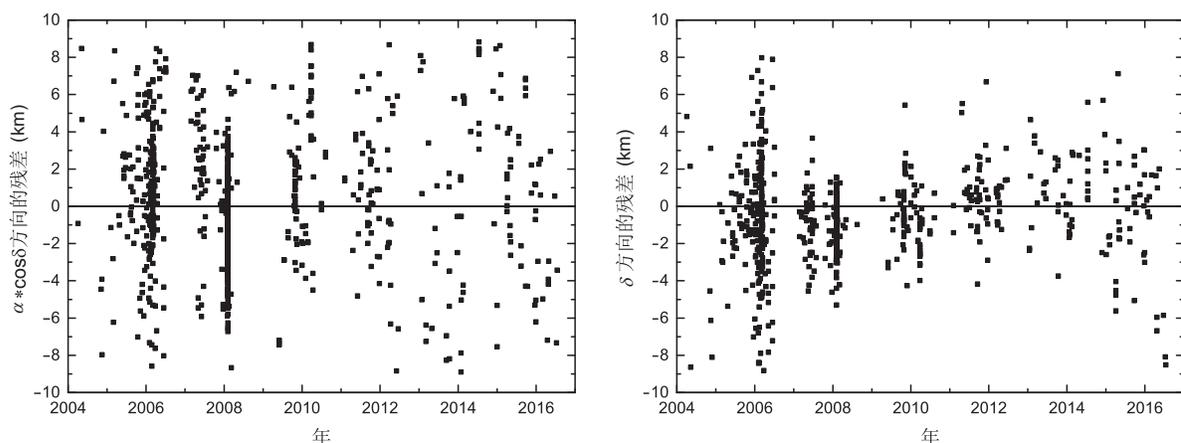


图6 Helene的测量结果在 $\alpha * \cos \delta$ 和 δ 方向的残差, 单位为km

Figure 6 Residual for all Helene's results in $\alpha * \cos \delta$, δ direction respectively, in km.

表2 Helene测量的结果在不同方向上的残差

Table 2 Residuals of all the results in different directions

参数	均差	标准差
x (pixel)	0.02	0.21
y (pixel)	0.03	0.23
$\alpha * \cos \delta$ (arcsec)	0.002	0.361
δ (arcsec)	-0.067	0.199
$\alpha * \cos \delta$ (km)	0.23	3.48
δ (km)	-0.63	2.23

在图像上的位置测量, 其均差都接近零. 标准差在0.2–0.3个像素之间. 在 $\alpha * \cos \delta$ 和 δ 方向上分别以角度(arcsec为单位)和距离(km为单位)来统计, 可以看出均差都比较接近0, 从角度看, 两个方向的残差标准差在0.2–0.4 arcsec之间. 从距离来看, 标准差是3 km的量级.

为了清晰展示Cassini观测的精度优势, 我们将本文的结果和最近发表的关于Helene的观测进行比较. 如前所述, 最近的Helene观测有2000和2003年发表的地面观测^[15, 16], 以及2006年发表的HST的观测^[17]. 文献中给出了这些观测数据的O-C, 反映了测量的精度, 不过这些残差都是以角度反映出来的. 为了突出Cassini观测的精度优势, 这里把残差统一换算到以千米数计的距离指标上, 然后进行比较. 尽管各个观测数据所用的坐标原点不同, 或者为地心, 或者为站心(如HST或者Cassini), 但是它们都是ICRF坐标系下的数据, 这种以距离表示的残差在不同的坐标系中并不会改变. 因此这种测量精度的比较是合理的. 在比较的时候,

由于文献^[15–17]给出的都是角秒, 这里我们采用简单近似的方法把它们转换为千米数, 也就是把地心到土星的距离当成常数: 12.774 亿千米(冲时的平均距离)(<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/saturnfact.html>), 忽略Helene到土星的距离, 忽略HST到地心的距离, 然后得到约略的精度数据(此处数据并不精确, 因为这里仅是展示量级上的差异, 约略的数据并不影响问题的实质展示), 详见表3. 其中, 由于文献^[17]只给了均方根误差, 为了统一比较, 其他结果也给出了均方根误差. 另外文献^[17]分别给出了HST的PC和WF两个相机的测量结果, 所以, 此表也分别给出, 分别列为French等2006 PC和French等2006 WF两行. 同时文献^[17]没有给出标准差数据, 所以表中缺失相关数据. 从此表可以看出, Cassini ISS图像的天体测量提供的距离精度相比于地面观测或HST观测的精度具有几十倍甚至数百倍的提高. 这突出反映了近距离拍摄的空间图像在天体测量方面的优势.

表3 Helene的测量残差的比较

Table 3 Comparison of Helene's astrometry residuals from different sources

文献	$\Delta \alpha * \cos \delta$ (km)		$\Delta \delta$ (km)	
	均方根误差	标准差	均方根误差	标准差
Veiga等2000 ^[15]	2390.502	1820.745	644.073	656.459
Veiga等2003 ^[16]	1127.128	860.828	675.038	551.78
French等2006 WF ^[17]	149.871	–	198.176	–
French等2006 PC ^[17]	96.611	–	121.383	–
本文结果	3.483	3.475	2.313	2.227

4 总结

我们对2004–2017年间的Cassini ISS图像进行了天体测量, 总计得到890个有效测量结果, 这些有效测量结果和JPL的历表SAT393相比, 在赤经、赤

纬方面的残差平均分别为0.23和–0.63 km, 残差的标准差分别为3.48和2.23 km, 这个测量精度远超地面观测的精度, 展示了空间观测的优势. 该数据结果也填补了近十多年Helene观测数据发表的空白.

参考文献

- 1 Porco C C, West R A, Squyres S, et al. Cassini imaging science: Instrument characteristics and anticipated scientific investigations at Saturn. *Space Sci Rev*, 2004, 115: 363–497
- 2 Gott J R. Lagrange L4/L5 points and the origin of our Moon and Saturn's Moons and rings. *Ann New York Acad Sci*, 2005, 1065: 325–335
- 3 Hamilton D P, Burns J A. Origin of Saturn's E ring: Self-sustained, naturally. *Science*, 1994, 264: 550–553
- 4 Porco C C, Thomas P C, Weiss J W, et al. Saturn's small inner satellites: Clues to their origins. *Science*, 2007, 318: 1602–1607
- 5 McGhee C. HST Observations of Saturnian satellites during the 1995 ring plane crossings. *Icarus*, 2001, 152: 282–315
- 6 Oberti P, Vienne A. An upgraded theory for Helene, Telesto, and Calypso. *Astron Astrophys*, 2003, 397: 353–359
- 7 Jacobson R A. The orbits of the major Saturnian satellites and the gravity field of Saturn from spacecraft and Earth-based observations. *Astron J*, 2004, 128: 492–501
- 8 Jacobson R A, Antreasian P G, Bordi J J, et al. The gravity field of the Saturnian system from satellite observations and spacecraft tracking data. *Astron J*, 2006, 132: 2520–2526
- 9 Robutel P, Rambaux N, El Moutamid M. Influence of the coorbital resonance on the rotation of the Trojan satellites of Saturn. *Celest Mech Dyn Astr*, 2012, 113: 1–22
- 10 Reitsema H J, Smith B A, Larson S M. A new Saturnian satellite near Dione's L4 point. *Icarus*, 1980, 43: 116–119
- 11 Reitsema H J. The libration of the Saturnian satellite Dione B. *Icarus*, 1981, 48: 23–28
- 12 Oberti P, Veillet C, Catullo V. Lagrangian satellites of Tethys and Dione. I — Reduction of observations. *Astron Astrophys Suppl Ser*, 1989, 80: 289–297
- 13 Rohde J R, Pasco D. Astrometric observations of Helene (SXII), Telesto (SXIII), and Calypso (SXIV). *Bull Amer Astron Soc*, 1993, 25: 1235
- 14 Rohde J R, Pasco D. CCD astrometry of Helene (SXII), Telesto (SXIII) and Calypso (SXIV): 1993 Observations. *Bull Amer Astron Soc*, 1994, 26: 862
- 15 Veiga C H, Martins R V. Astrometric photographic observations of Helene. *Astron Astrophys Suppl Ser*, 2000, 143: 405–407
- 16 Veiga C H, Martins R V, Vienne A, et al. CCD astrometric observations of Saturnian satellites. *Astron Astrophys*, 2003, 400: 1095–1101
- 17 French R G, McGhee C A, Frey M, et al. Astrometry of Saturn's satellites from the Hubble space telescope WFPC2. *Publ Astron Soc Pac*, 2006, 118: 246–259
- 18 Cooper N, Murray C, Porco C, et al. Cassini ISS astrometric observations of the inner jovian satellites, Amalthea and Thebe. *Icarus*, 2006, 181: 223–234
- 19 Cooper N J, Murray C D, Evans M W, et al. Astrometry and dynamics of Anthe (S/2007 S 4), a new satellite of Saturn. *Icarus*, 2008, 195: 765–777
- 20 Cooper N J, Murray C D, Lainey V, et al. Cassini ISS mutual event astrometry of the mid-sized Saturnian satellites 2005–2012. *Astron Astrophys*, 2014, 572: A43
- 21 Tajeddine R, Cooper N J, Lainey V, et al. Astrometric reduction of Cassini ISS images of the Saturnian satellites Mimas and Enceladus. *Astron Astrophys*, 2013, 551: A129
- 22 Tajeddine R, Lainey V, Cooper N J, et al. Cassini ISS astrometry of the Saturnian satellites: Tethys, Dione, Rhea, Iapetus, and Phoebe 2004–2012. *Astron Astrophys*, 2015, 575: A73
- 23 Zhang Q F, Lainey V, Cooper N J, et al. First astrometric reduction of Cassini Imaging Science Subsystem images using an automatic procedure: Application to Enceladus images 2013–2017. *Mon Not R Astron Soc*, 2018, 481: 98–104
- 24 Gu Y D, Gao M, Zhao G H. Space research plan of China's space station. *Chin J Space Sci*, 2016, 36: 595–599
- 25 Zhan H. Consideration for a large-scale multi-color imaging and slitless spectroscopy survey on the Chinese space station and its application in dark energy research (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2011, 41: 1441–1447 [詹虎. 中国空间站大规模多色测光与无缝光谱巡天的设想及其在暗能量研究领域的应用. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2011, 41: 1441–1447]
- 26 Zhang J X, Zhang W, Li X Z. Review of development in space astronomy on onboard manned spacecraft (in Chinese). *Manned Spaceflight*, 2017, 23: 670–679 [张九星, 张伟, 李绪志. 载人航天空间天文领域发展综述. 载人航天, 2017, 23: 670–679]

- 27 Peng Q Y, Tu B. Preliminary results of solving geometric distortions for a CCD image (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2011, 41: 1126–1130 [彭青玉, 涂兵. 求解CCD图像几何扭曲的初步结果. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2011, 41: 1126–1130]
- 28 Peng Q Y, Vienne A, Zhang Q F, et al. A convenient solution to geometric distortion and its application to Phoebe's observations. *Astron J*, 2012, 144: 170
- 29 Li Z, Peng Q Y, Han G Q. Comparison of digital centering algorithms based on CCD images (in Chinese). *Acta Astron Sin*, 2009, 50: 340–348 [李展, 彭青玉, 韩国强. CCD图像数字定心算法的比较. 天文学报, 2009, 50: 340–348]

Astrometric reduction of Cassini ISS images of Helene

ZHANG QingFeng^{1,2}, XIONG YuTao¹, PENG QingYu^{1,2*}, MENG XiaoHua^{1,2},
LI Zhan^{1,2} & WANG Na^{1,2}

¹*Department of Computer Science, Jinan University, Guangzhou 510632, China;*

²*Sino-French Joint Laboratory for Astrometry, Dynamics and Space Science, Jinan University, Guangzhou 510632, China*

Helene is a small irregular Saturnian satellite. It is difficult to observe Helene by ground-based telescopes because of its weak lightness (18.5 mag) and proximity to Saturn's rings. The number of historical observations of the satellite is small, but a large number of images of Helene were obtained between 2004 and 2017 using the Imaging Science Subsystem (ISS) in Cassini Spacecraft. In this paper, astrometry reduction was performed based on these observations. Specifically, we first corrected the initial pointing of the Narrow Angle Camera in ISS using the referencing Gaia DR2, and then measured the Helene's center position in image coordinates using the two-dimensional Gaussian fitting method. Finally the position was transformed to the Right Ascension (α) and Declination (δ) in International Celestial Reference Frame (ICRF) centered at Cassini. The result was compared with JPL SAT393 ephemerides, and the position residual was calculated. Totally 890 images were effectively measured. The results showed that compared with SAT393, the mean values of all residuals in $\alpha \cdot \cos(\delta)$ and δ directions were 0.23 and -0.63 km, respectively, and the standard deviations were 3.48 and 2.23 km, respectively. This precision was much higher than that of ground observations, indicating the advantage of space-based observations.

Helene, astrometry, Cassini, ISS, ephemeris

PACS: 95.10.Jk, 96.30.N-, 95.75.-z, 95.55.Fw, 95.75.Mn

doi: [10.1360/SSPMA2018-00269](https://doi.org/10.1360/SSPMA2018-00269)