

“新视野”号成功飞掠冥王星及其卫星系统

季江徽^{①②*}, 蒋云^{①②}, 王素^{①②}

① 中国科学院紫金山天文台, 南京 210008;

② 中国科学院行星科学重点实验室, 南京 210008

* 联系人, E-mail: jijh@pmo.ac.cn

2015-07-24 收稿, 2014-07-28 接受, 2015-08-14 网络版发表

国家自然科学基金(11273068, 11473073)、中国科学院战略性先导科技专项(B类)(XDB09000000)、中国科学院新兴与交叉学科布局试点项目(KJZD-EW-Z001)、江苏省自然科学基金(BK20141509)和紫金山天文台小行星基金会资助

摘要 2006年1月19日, 美国宇航局发射的“新视野”号, 经过近10年约50亿千米的飞行成功飞掠了冥王星及其卫星系统, 成为迄今距离这颗矮行星最近的人类探测器。“新视野”号已传回的科学探测数据显示, 冥王星具有由广袤的冰冻平原组成的心形区域, 赤道附近有一座年轻的高达3500 m的冰冻山脉。冥王星表面分布着大量甲烷冰, 不同区域差异明显。冥卫一卡戎展现年轻复杂多样的地貌: 表面有两条巨大的峡谷、北半球有一座山峰位于凹陷当中以及少量撞击坑等。此外, “新视野”号首次获取了冥卫二尼克斯和冥卫三许德拉的表面特征等信息。“新视野”号将继续深入遥远神秘的柯伊伯带, 这将为我们揭开太阳系边缘的神秘面纱。

关键词

新视野号
冥王星
卡戎
冥卫系统
柯伊伯带

经过历时9年半、约50亿千米的太空旅行, 北京时间2015年7月14日19:49, 美国国家航空航天局(NASA)的“新视野”(New Horizons)号探测器近距离(约1.25万千米)飞掠了冥王星, 成为第一个探测这颗遥远矮行星(dwarf planet)的人类探测器。“新视野”号于2006年格林尼治标准时1月19日19:00从美国卡纳维拉尔角航天中心发射升空, 直接进入地球和太阳逃逸轨道。它由核动力驱动, 飞行速度高达16.26 km/s, 是目前人类飞行速度最快的探测器。由于超高速飞行, “新视野”号在发射后9个小时便飞越了月球轨道, 13个月于2007年2月飞越木星并拍摄到木卫一表面正在喷发的火山。借助于木星引力助推, “新视野”号进一步加速到23 km/s, 飞向遥远的冥王星。在此后的几年时间里, “新视野”号上的绝大部分仪器处于休眠状态, 以节约电力, 延缓设备老化。2014年12月7日, 该探测器从休眠中被唤醒, 开始着手执行探测冥王星的任务。

“新视野”号探测任务旨在探测冥王星及柯伊伯

带天体, 是第一艘飞越和探索冥王星及其卫星的空间探测器^[1]。其主要科学目标包括: (1) 确定冥王星及冥卫一卡戎(Charon)的地表物质成分; (2) 探测冥王星及卡戎的地质及地形; (3) 探测冥王星的中性大气并测量其大气逃逸率; (4) 搜寻卡戎周围可能存在的大气层; (5) 测量冥王星及卡戎的地表温度; (6) 搜寻冥王星周围可能存在的环结构和其他未发现的卫星; (7) 在完成对冥王星的探测任务之后, 将继续前往另一颗柯伊伯带天体并开展类似的科学探测。该探测器分为3个主要部分: 即动力系统(包括提供所有电力的放射性同位素温差发电机和调节探测器相位的引擎)、通信系统(高、低增益天线, 与地球的深空测控网保持联系)以及科学平台。其搭载的7件科学探测仪器分别是: 远距勘测相机(LORRI)、冥王星太阳风探测器(SWAP)、冥王星高能粒子谱仪(PEPSSI)、紫外波段成像谱仪(Alice)、拉尔夫望远镜(Ralph)、尘埃计数器(SDC)、无线电科学实验设备(REX)。“新视野”号是美国国家航空航天局“新前沿计

引用格式: 季江徽, 蒋云, 王素. “新视野”号成功飞掠冥王星及其卫星系统. 科学通报, 2015, 60: 2349-2354

Ji J H, Jiang Y, Wang S. New Horizons spacecraft successful flew by Pluto and its moons (in Chinese). Chin Sci Bull, 2015, 60: 2349-2354, doi: 10.1360/N972015-00854

划”(New Frontiers Program)推出的一项星际空间探测项目,遵循NASA近年来推行的小型化、低成本设计,最终耗资控制在5亿美元左右。

根据2006年8月24日国际天文联合会(IAU)第26届大会的第5号决议,行星被定义为绕太阳(或其他恒星)运转、质量足够大使其表面达到流体静力平衡的形状(近于球形),具备清空其轨道附近区域物质的天体.冥王星由此被降级为矮行星,我们所熟知的经典的太阳系九大行星变为八大行星.不同于岩质地行星(水星、金星、地球和火星)和气态类木行星(木星、土星、天王星和海王星),冥王星及其最大的卫星卡戎属于第三类:冰质矮行星,它们具有固态表面,大部分组成是冰体物质.图1显示的是冥王星可能的一种内部结构示意图,它的内部可能是分异的,具有岩石组成的核(直径约1700 km)、水冰组成的幔(厚约100~180 km)及最表层的氮冰结构^[2].冥王星的平均密度为 $2.03 \pm 0.06 \text{ g cm}^{-3}$.根据这个密度估计,冥王星中的岩石成分可能占总质量的70%左右.据“新视野”号最新数据估计,冥王星的直径为 $2370 \pm 20 \text{ km}$,大于前人对它的预期,使之重新戴上柯伊伯带最大的天体的宝冠.冥王星的轨道是一个很扁的椭圆,轨道半长径为39.5 AU,偏心率为0.251,公转周期约为248年.最新探测结果显示,冥王星的直径约为月球的2/3.由于卡戎的质量约为冥王星的11%,所以目前认为它们组成了一个双星系统^[3].冥王星和卡戎的双星结构是怎么样形成的呢?理论研究认为冥王星和卡戎分别来自不同的个体,在经历一次大碰撞之后形成了目前的双星系统,同时在碰撞过程中原来系统中的卫星可能会留存下来,而碰撞之后产生的碎片也可能会重新组成新的卫星.哈勃太空望远镜于2012年拍摄到冥王星的4个卫星:尼克斯(Nix)、许德拉(Hydra)、科波若斯(Kerberos)和斯提克斯(Styx)(图2).这4颗卫星与卡戎的轨道周期比约为3:4:5:6,这样的轨道构型与木星的3颗伽利略卫星处于拉普拉斯共振的构型极为相似^[4].通过冥王星及其卫星的轨道紧致分布可猜测,它们中间存在其他卫星的可能性比较小.根据行星形成理论,由碰撞之后产生的碎片而形成的卫星其形状相对不规则,而从小行星慢慢长大形成的卫星则比较圆,因此从两颗较大卫星的形状可以初步判断,尼克斯和许德拉更有可能由小行星慢慢长大形成,而不是碰撞后的碎片^[5,6].

“新视野”号飞掠了冥王星及其卫星系统,以前

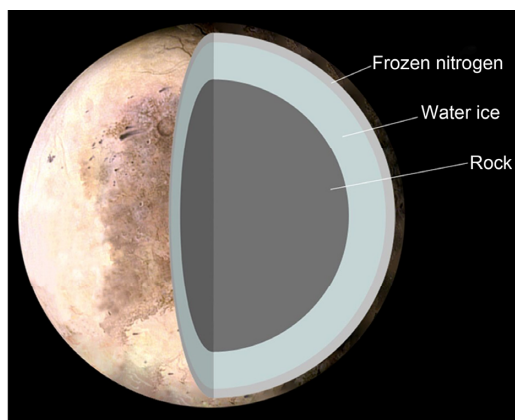


图1 (网络版彩色)冥王星的可能内部结构示意图^[1]

Figure 1 (Color online) The schematic diagram of possible internal structure of Pluto^[1]

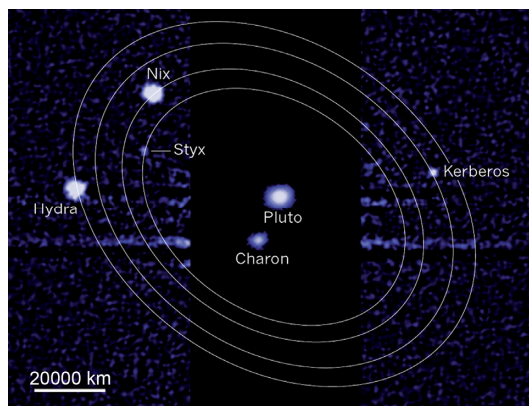


图2 (网络版彩色)哈勃空间望远镜拍摄的冥王星及其卫星的光学图像(2012年7月拍摄)^[2]

Figure 2 (Color online) Optical image of Pluto and its moons by Hubble Space Telescope in July, 2012^[2]

所未有的近距和视角拍下其清晰图像,揭露了太阳系中这个未曾被探索过的疆域.冥王星的地表,比大多数行星和科学家们之前所预料得更富有纹理,其地质呈现的多样性和复杂程度令人惊讶.其中最明亮最显著的特征便是心形区域(约2000 km),目前已被非正式命名为汤博区(Tombaugh Regio),以缅怀85年前冥王星的发现者汤博(图3).除此之外,冥王星的赤道附近有名为“鲸鱼”的长形暗色区域.最新传回的数据进一步揭示了心形区域内广阔的、无撞击坑的冰冻平原的地貌特征.这个被命名为“斯普特尼克”(Sputnik)的冰冻平原被窄而浅的沟槽(Trough)分割成不规则区域(图3a).一些沟槽内具有暗色物质,一些则拥有隆起的山丘.在另一些地方,表面有一些小坑(Pits),可能是由升华作用所致.据推测不规则

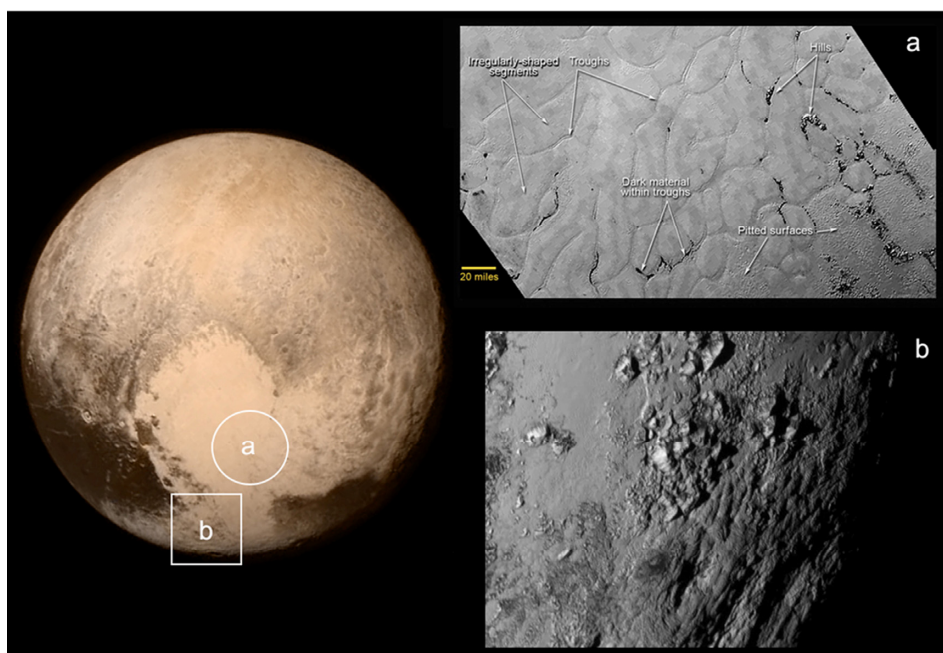


图3 (网络版彩色)冥王星表面的心形区域、冰冻平原(a)以及冰冻山脉(b). 来源: NASA/JHUAPL/SWRI

Figure 3 (Color online) Pluto image by New Horizons showing a heart-shaped region, and close-up images of frozen plains (a) and icy mountains (b). Credits: NASA/JHUAPL/SWRI

形貌可能是地表物质收缩的结果,与泥土干结的过程类似.此外,表面冰冻的一氧化碳、甲烷以及氮在冥王星内部热的驱使下也可能存在对流过程.据NASA介绍,这个冰冻平原的形成年龄不超过1亿年,可能仍然经历着地质过程的改造.在冥王星赤道附近的局部高清图像中,发现了一处高达3500 m、形成年龄不超过1亿年的年轻的冰冻山脉(图3b),面积约为冥王星表面积的百分之一.这是45.6亿年太阳系中最年轻的地表特征之一,这表明冥王星的内部可能仍然存在地质活动.不同于太阳系中一些气态巨行星的卫星,冥王星没有与一颗更大的行星来发生潮汐作用,因而不存在潮汐加热.那么,有可能存在其他的某种地质作用,能够在其向阳面赤道附近造出如此高耸的年轻山脉,并且造山运动可能还在进行之中.冥王星内部放射性元素衰变产生的热量可能是能源机制之一.

除了光学图像以外,拉尔夫望远镜获取的光谱数据显示,冥王星的冰冻表面分布着大量甲烷冰,但不同区域的甲烷冰又展现出明显差异(图4).冥王星的极冠显示非常深的甲烷吸收带.“新视野”号探测到冥王星的大气层延伸至地表以上1600 km,这一数值比之前观测到的大气高度高出5倍,表明冥王星的富

氮大气延伸相当广阔.探测数据还表明,冥王星数万千米以外的区域存在低温、稠密的等离子体拖尾,这是太阳风推动行星大气向外逃逸的结果.

冥卫一卡戎的直径约为1208 km,几乎是冥王星直径的一半.与冥王星上布满了氮冰与甲烷冰不同的是,卡戎的表面可能更多是水冰.卡戎表面温度约为 -230°C ,密度为 1.63 g cm^{-3} ,大约是由55%的岩石与45%的冰组成.冥卫一表面大气仅约为0.1 mb ($1\text{ mb}=100\text{ Pa}$),稀薄到几近于无.“新视野”号传回的数据显示卡戎表面年轻而复杂多样的地形(图5).北极的暗色区域被命名为“魔多”(Mordor).暗区地层可能较薄,因为底下浅色的撞击坑外露.在暗区的下方,从东北到西南,是延伸达1000 km的沟槽(Trough)和悬崖(Cliff),表明卡戎的地壳普遍断裂,这很有可能是内部过程造成的.在右上方边缘,是一条深达7~9 km的大峡谷.最新传回局部区域的高清图像显示,卡戎北半球有一个巨大的凹陷,凹陷中央耸立一座山峰.这一特征仍难以解释.另外,在凹陷边缘下方分布有一些撞击坑.以上探测结果表明,与木卫二类似,卡戎深部可能也具有液态海洋.

冥卫二尼克斯和冥卫三许德拉均是2005年哈勃太空望远镜发现的.此次“新视野”号对它们拍摄的

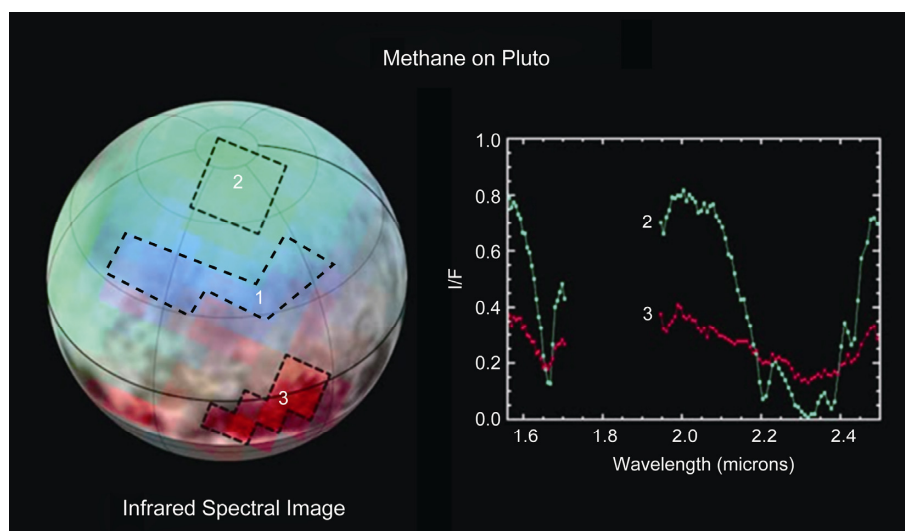


图 4 (网络版彩色)冥王星红外光谱图像显示表面甲烷冰的分布图. 1 区对应着波长为 $1.62\sim 1.70\ \mu\text{m}$ 的红外线, 是甲烷冰吸收强度中等的波段. 2 区($1.97\sim 2.05\ \mu\text{m}$), 是甲烷冰完全不吸收的波段. 3 区($2.30\sim 2.33\ \mu\text{m}$)是甲烷冰严重吸收的波段. 右边谱图显示, 北极区域的甲烷吸收比南极深得多. 来源: NASA/JHUAPL/SwRI

Figure 4 (Color online) The distribution of methane ice of spectra from New Horizons Ralph on the surface of Pluto. Region 1 corresponds to $1.62\sim 1.70$ micrometers wavelengths, with a medium-strong absorption band of methane ice, Region 2 ($1.97\sim 2.05$ micrometers) is a channel without absorption of methane ice, and Region 3 ($2.30\sim 2.33$ micrometers) shows a channel where the light is very heavily absorbed by methane ice. Note that the methane absorption in the spectrum from the northern region are much deeper than that from the dark patch. Image Credit: NASA/JHUAPL/SwRI

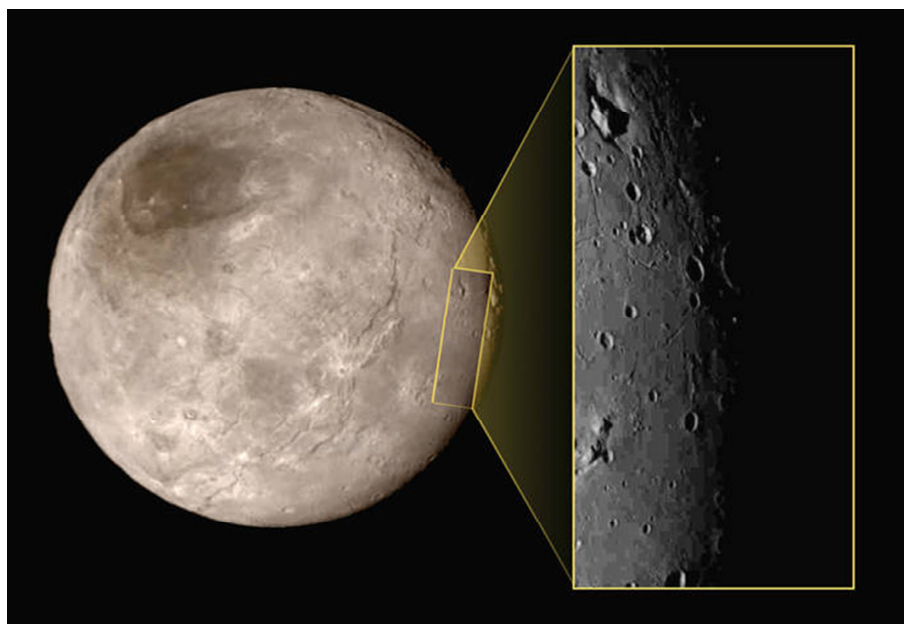


图 5 (网络版彩色)冥卫一卡戎的高清图像. 2015 年 7 月 14 日, “新视野”号利用 LORRI 相机在最接近冥王星表面前 1.5 h (79000 km)拍摄(右). 来源: NASA/JHUAPL/SwRI

Figure 5 (Color online) The image of Pluto's first moon Charon was taken by New Horizons' LORRI on July 14, 2015, about 1.5 h before closest approach to Pluto, from a range of 79000 km. Image Credit: NASA/JHUAPL/SwRI

高清图像让人类第一次真实地看到了其外形及表面特征. 冥卫二尼克斯(图6左), 形如豆状, 大小约为 $42\ \text{km}\times 36\ \text{km}$. 在其表面发现一个区域(深色表示), 可能

为一个撞击坑. 尼克斯表面成分数据已经获取, 但还没有传回至地球. 冥卫三许德拉(图6右), 自 2005 年发现以来一直是一个形状、大小和反照率均未知的

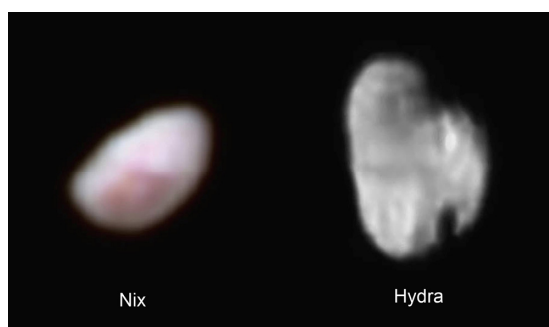


图6 (网络版彩色)冥卫二尼克斯(Nix)和冥卫三许德拉(Hydra). 前者是“新视野”号利用Ralph望远镜距离表面165000 km拍摄(深色为增强色). 后者是“新视野”号利用LORRI相机距离表面231000 km拍摄. 来源: NASA/JHUAPL/SWRI

Figure 6 (Color online) Pluto's second moon Nix (left) and third moon Hydra (right). Nix with enhanced color was imaged by the New Horizons' Ralph from a distance of about 165000 km. Hydra was taken from New Horizons' LORRI from a distance of about 231000 km. Image Credit: NASA/ JHUAPL/SWRI

模糊光点。“新视野”号上的LORRI相机拍摄的高清图像显示其大小为55 km×40 km, 形似芋头. 表面至少有两个大撞击坑, 其中一个主要处于阴影之中. 上部比其余部分更暗, 暗示表面成分可能存在差异. 与卡戎一样, 冥卫三的表面有可能也被水冰覆盖. 有关科波若斯和斯提克斯的数据将于2015年10月中旬传回. 这些卫星如何形成以及表面物质成分如何?“新视野”号对冥王星及其卫星系统表面特征等的后续发现将进一步揭开这些谜团.

以上图像和光谱数据只是“新视野”号飞掠冥王星期期间传回的极少部分的科学数据. 由于回传地球的带宽所限, 此次飞掠的全部数据将在未来16个月内陆续传回地球. 在完成对冥王星系统的飞越后,

“新视野”号将继续开展新的征程深入柯伊伯带进行探测. 柯伊伯带是位于海王星轨道以远黄道面附近、散布着大量冰冻小天体的环形区域, 是太阳系里的“冷库”. 柯伊伯带天体保留着太阳系形成时的原始成分和状态, 对了解太阳系的起源具有极大的作用. 柯伊伯带作为太阳系的新大陆, “新视野”号的发现将使人们对太阳系的结构有崭新的认识.

“新视野”号是太阳系探测中新的里程碑, 使人类实现对经典“九大行星”探测的大满贯. 通过对冥王星及其卫星系统等柯伊伯带天体的探测, 人类将以全新的视角来重新认知太阳系的结构与形成演化. “新视野”号探测任务是一项花钱不多但科学回报极其丰富的科学探测项目, 这得益于研究团队在任务早期对科学目标的详细规划与精确设计, 以及长期对探测目标的专注研究. 在远征太阳系边缘的任务中, 它采用的低成本小型化设计及核能发电机等关键技术, 这为我国未来的深空探测带来新的启示. 虽然国内已开展了月球探测及嫦娥二号对图塔蒂斯小行星飞越探测, 取得了重要的科学成果^[7,8], 但是我国将要开展的火星探测、小行星探测及木星探测等任务还任重而道远, 不仅需要我们在科学目标的规划与凝炼做好充分的准备, 还需要面向探测任务建立一支科学研究和工程技术充分结合的科学团队. 众所周知, 深空探测周期长、风险高、难度大. 未来深空探测将围绕关键科学问题, 结合航天技术能力、科学研究和经济发展水平, 以科学目标牵引、带动科技创新和新兴产业发展; 坚持以我为主, 拓展国际合作, 为探索太阳系、地球生命起源及小天体对地球与人类生存的威胁等重大科学问题作出贡献.

参考文献

- 1 Stern S A. The New Horizons Pluto Kuiper belt mission: An overview with historical context. *Space Sci Rev*, 2008, 140: 3–21
- 2 Hussmann H, Sohl F, Spohn T. Subsurface oceans and deep interiors of medium-sized outer planet satellites and large trans-neptunian objects. *Icarus*, 2006, 185: 258–273
- 3 Canup R M. On a giant impact origin of Charon, Nix and Hydra. *Astron J*, 2011, 141: 35–44
- 4 Cheng W H, Peale S J, Lee M H. On the origin of Pluto's small satellites by resonant transport. *Icarus*, 2014, 241: 180–189
- 5 Kenyon S J. Pluto leads the way in planet formation. *Nature*, 2015, 522: 40–41
- 6 Desch S J. Density of Charon formed from a disk generated by the impact of partially differentiated bodies. *Icarus*, 2015, 246: 37–47
- 7 Huang J C, Ji J H, Ye P J, et al. The Ginger-shaped Asteroid (4179) Toutatis: New observations from a successful flyby of Chang'e-2. *Sci Rep*, 2013, 3: 3411
- 8 Zhao Y H, Ji J H, Huang J C, et al. Orientation and rotational parameters of asteroid 4179 Toutatis: New insights from Chang'e-2's close flyby. *MNRAS*, 2015, 450: 3620–3632

New Horizons spacecraft successful flew by Pluto and its moons

JI JiangHui^{1,2}, JIANG Yun^{1,2} & WANG Su^{1,2}

¹ PurpleMountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

² Key Laboratory of Planetary Sciences, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

New Horizons is an interplanetary spacecraft that was launched on January 19, 2006, as part of NASA's New Frontiers Program. On July 14 2015, the spacecraft successful flew by Pluto and its moons after a roughly 10-year-long journey with approximately five billion kilometers, making it the nearest human spacecraft to this dwarf planet so far. The received scientific data from New Horizons show that, Pluto has a heart-shaped region consisting of vast frozen plains, and a range of youthful icy mountains as high as 3500 m above the surface of equator. The spectra reveal an abundance of methane ice with significant differences across the frozen surface of Pluto. Pluto's first moon Charon displays young and diverse landscape with two great canyons as well as a depression with a peak in the middle with few visible craters distributing around. In addition, New Horizons first obtained surface characteristics and other properties of Pluto's second moon Nix and third Hydra. It will venture deeper into the distant Kuiper Belt and help us uncover the mystery of the Solar system edge.

New Horizons, Pluto, Charon, Pluto and its moons, Kuiper belt

doi: 10.1360/N972015-00854