空间中心提出利用火流星观测数据约束近地小行星物理特性的方法

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/21858.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

空间中心提出利用火流星观
测数据约束近地小行星物理特性的方法。
密度、强度、反照率等物理特性参数是评估近地小行星撞击风险与危害、制定小行星防御处置策略的基本依据。然而，小行星密度、强度等特性参数一般仅能通过飞行器抵近探测获取，迄今为止人类仅掌握极少数实施过飞行探测任务的近地小行星的这一类物理特性参数。

近日，中国科学院国家空间科学中心复杂航天系统电子信息技术重点实验室小行星防御课题组博士研究生耿淑娟与研究员周炳红、李明涛，提出了利用小行星进入大气层的火流星观测数据约束其物理性质和轨道的方法，同时，利用该方法对2022EB5近地小行星的物理性质进行约束，推断其或是一颗低密度、低强度、低反照率的碳质小行星。该研究为未来通过火流星观测数据获取小行星密度、强度、反照率等物理特性的分布特征提供了新途径。

小行星2022EB5是人类第5颗提前预警的撞击地球的近地小行星，于格林尼治时间2022年3月11日由匈牙利天文学家Kriszti á n S á rneczky首次发现，并在约两小时后进入地球大气层，于挪威海上空发生解体。NASA近地小天体研究中心(CNEOS)利用美国卫星传感器网络(USGS)记录了该小行星在地球大气内飞行过程的光变曲线以及峰值亮度时刻的速度、位置，并根据光能推断该小行星的撞击能量(约4千吨TNT)。美国宇航局和欧空局等通过进入大气层前的光学观测资料确定了该小行星的轨道，利用小行星的平均反照率估计了小行星的尺寸，而该小行星其他物理性质尚不清楚。

对于已知峰值亮度时刻状态矢量的小行星，传统的推断物理性质的方法是将其峰值亮度时刻的速度视为进入大气时刻的速度，将峰值亮度时刻的动压视为其解体强度的最大值，从而根据估算的撞击能量进一步计算小行星的质量和轨道，推测小行星的材质。对于有光学观测信息的小行星，通常假设平均反照率，根据绝对星等、直径、反照率间的经验关系，对小行星的尺寸进行计算。然而，这种传统的计算方式相当于跳过小行星进入大气过程的计算，忽略了大气层对小行星轨迹的影响。同时，平均反照率估算的小行星尺寸往往与实际情况存在较大偏差。

然而，对小行星的大气进入过程建模，需要输入小行星密度、结构强度、烧蚀热等物理特性参数。这些物理特性参数恰是需要估计的未知量。如何在未知物理特性参数的条件下对小行星的大气进入过程进行建模并同步估计未知物理特性参数是难题之一。

该研究将计算分为四组，分别假设小行星为C类、S类、M类及彗星，并根据经验参数在每组中假设小行星的密度、烧蚀热为对应材质类型的经典值。研究将其他未知的物理量视为待优化变量，包括小行星峰值亮度时刻的半径、半径变化率、质量以及小行星的解体强度。以煎饼模型的解体条件作为优化的约束条件，研究以此计算小行星的尺寸、质量、解体强度。结合小行星各组是否有解以及解体强度的范围，研究对小行星的材质进行初步判断。例如，若仅有S类的组别有解，则该小行星为S类小行星;若两组以上有解，则根据强度对小行星类型进行判断。通常而言，彗星的强度<0.1MPa，M类小行星强度>10MPa，但C类与S类小行星的强度往往不能严格区分，需要其他辅助信息进一步约束。

该课题组利用Chelyabinsk流星体、Kosice流星体对此方法进行验证。结果显示，使用该方法计算得到的小行星物理性质以及轨道根数，均较传统方法计算得到的的数值更符合观测结果。

研究显示，对于2022EB5小行星，使用传统方法计算，其反照率将被假设为0.147，得到的小行星直径约1.6米;其解体强度约3.5MPa，若仅根据强度推断，2022 EB5可能被确定为S类小行星。利用这一新方法则能够对2022EB5的物理性质进行进一步约束，如表1所示。其中，Ryugu/Bennu组是日本和美国小行星取样返回任务的目标小行星，密度约为1200kg/m3，用于模拟低密度C类小行星的撞击场景。

研究从表1计算得到的解体强度判断，2022 EB5可能为C类或S类小行星。结合表1中计算得到的直径范围以及光学观测到的绝对星等可推断，其反照率范围约为0.011-0.025，更加接近C类小行星的反照率范围。 图1对比了C、S、Ryugu/Bennu三组的能量沉积曲线与光变曲线转换而来的能量沉积曲线，发现Ryugu/Bennu组与观测组最为接近。综合分析，2022 EB5有可能是一颗低密度、低反照率、直径约5-6米的C类小行星。而此前美国宇航局和欧空局估计该小行星尺寸不足2米。
论文链接

表 1 2022 EB5 物理性质计算结果

分组	密度 kg/m³	解体强度 MPa	初始速度 km/s	进入角 deg	初始直径 m	初始质量 kg
Comet	1000	2.1	17.99	58.19	5.82	103444
Ryugu/Bennu	1200	2.0	17.80	58.18	5.52	105610
C-type	2000	1.8	17.64	58.18	4.68	107541
S-type	3500	1.6	17.51	58.18	3.91	109139
M-type	7900	1.4	17.40	58.18	2.99	110557
No-air		3.5	17.24	57.90		112640

该课题组提出的将解体模型与优化算法相结合的方法，可基于大气层中的火流星观测数据进一步约束近地小行星的物理特性。未来，可利用该方法对火流星数据集进行分析，以获取近地小行星物理特性的统计分布特征，对制定近地小行星预警与防御处置策略、评估近地小行星撞击危害效应具有参考价值。2月1日，相关研究成果以Near-Earth object 2022 EB5: From atmospheric entry to physical properties and orbit为题，发表在Astronomy Astrophysics上。研究工作得到北京市重大科技专项等的支持。 2022 EB5能量沉积曲线

研究团队单位：国家空间科学中心

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发