

行星表面动力着陆自主制导方法综述

宋征宇^{1,5}, 王聪², Stephan THEIL³, David SEELBINDER³, Marco SAGLIANO³,
刘新福⁴, 邵之江⁵

¹ 中国运载火箭技术研究院, 中国北京市, 100076

² 北京航天自动控制研究所, 中国北京市, 100854

³ 德国宇航中心空间系统与 GNC 系统研究所, 德国不莱梅, 28001

⁴ 北京理工大学宇航学院, 中国北京市, 100081

⁵ 浙江大学控制科学与工程学院, 中国杭州市, 310027

摘要: 本文总结了天体表面精确软着陆的自主制导方法。首先回顾了动力下降制导方法的发展, 重点介绍了其在约束处理和提升计算效率方面的贡献。随着对可重复使用运载器需求的不断增加, 以及太空探索带来更多的科学回报, 定点软着陆成为一项基本要求。不同于过去任务中公里级的着陆精度, 未来行星着陆器在满足全部速度和姿态约束条件下, 着陆位置精度要达到 10 米级, 这项任务的困难引起学者对自主制导方法的兴趣。本文讨论了动力下降阶段一般性的 3 自由度和 6 自由度优化问题, 并对比月球、火星和地球 3 种典型着陆场景的特点。在此基础上, 通过比较解析制导方法、数值优化算法和基于学习的方法, 详细阐述自主制导方法的特点和适应性, 并讨论非凸问题的凸化处理和求解策略。随后提出自主制导方法工程应用的 3 个关键问题: 物理可行性、模型精度和实时性。最后, 简要介绍各国航天组织 (包括美国、中国、法国、德国和日本) 研发的垂直起降验证飞行器, 以及目前在验证飞行器上开展的制导方法试验工作。

关键词: 自主制导方法; 定点软着陆; 动力下降; 非线性规划

<https://doi.org/10.1631/FITEE.1900458>