

# 嫦娥五号月面起飞——深空探测的自主控制

**关键词：**星际穿越、毫秒决胜、大国智控

面对月球背面复杂地形下起飞姿态控制的世纪难题，中国航天科技集团首创“多模态最优控制体系”，实现人类首次月面自主精准起飞：

①燃料最优轨迹规划。应用 LQR 实时优化算法，在 3400 N 发动机推力约束下动态计算 800 kg 上升器姿态角，燃料消耗较阿波罗计划减少 32%，起飞重量偏差  $\leq 0.5$  kg，为月壤样本带回预留关键载荷余量。

②抗扰动自适应控制。融合  $H_{\infty}$  鲁棒控制与模型预测，通过在线辨识月尘喷射动力学参数，实时调整控制矩阵权重，在着陆腿不对称分离工况下将姿态稳定时间压缩至 1.8 s，创月面起飞精度  $0.03^{\circ}$  的世界纪录。

③视觉导航数据驱动。部署轻量化神经网络辨识系统，通过 2000 帧/s 陨石坑图像匹配实现无卫星导航定位，轨道注入点偏差仅  $\pm 15$  m，推动深空自主控制技术领跑全球。

这一“月球灯塔”工程使我国成为唯一掌握月背起飞全自主控制技术的国家，带动空间机器人精度提升至微弧度量级，彰显了航天人征服星辰大海的报国信念。

**思政点：**尖端航天工程中的自主创新使命与极限攻坚担当。