

2020中国火星计划

根据叶培健院士讲座整理而成

BY 航天爱好者网

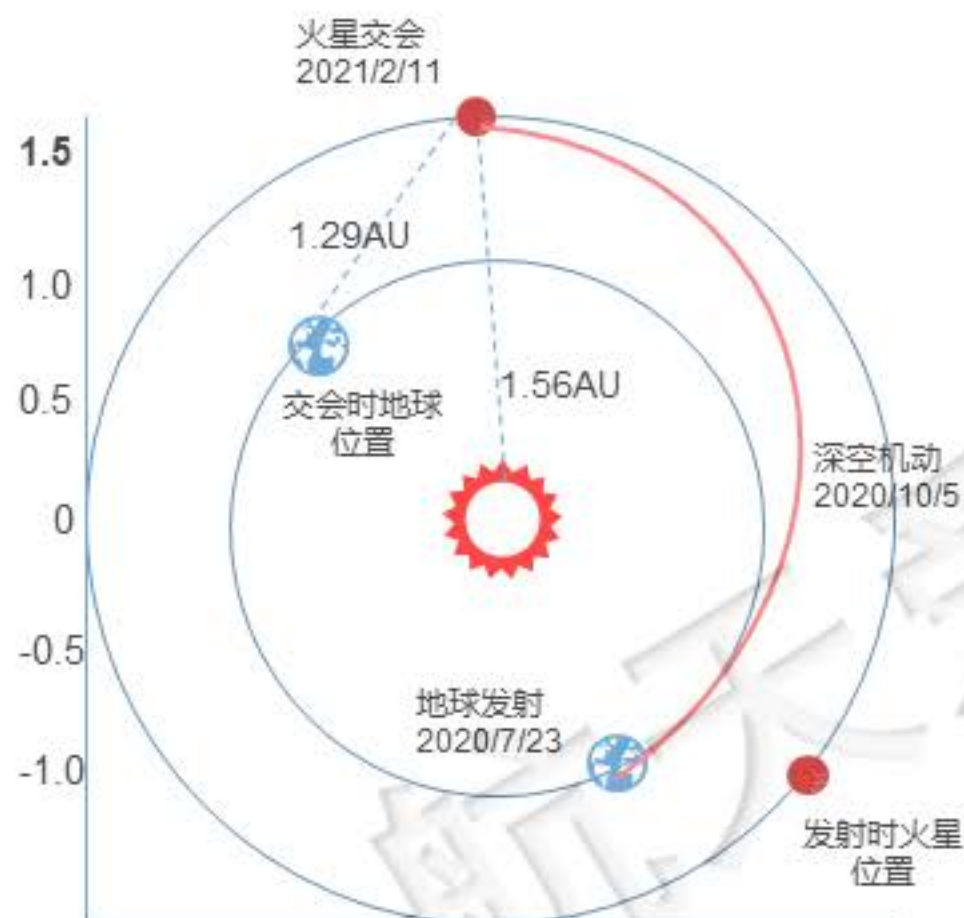
www.spaceflightfans.cn



任务概述-探测器组成



任务概述-飞行剖面



7个月巡航飞行



长征五号运载火箭
2020年7月-8月

环绕探测
任务寿命：1个火星年（687地球日）
环绕轨道：265×11943km，倾角86.9°
载荷配置：7类探测设备

进入 下降与着陆（EDL）
进入质量：~1285kg，其中火星车240kg
进入速度：~4.8km/s
着陆区域：北纬5°~北纬30°

表面巡视

考核寿命：90个火星日
载荷配置：6类探测设备
移动方式：主动悬架，轮式移动
通讯方式：器间通讯+对地通讯

任务概述—关键事件点

飞行事件	时间点	器地距离（公里）	传输时间延迟（单程）
器箭分离	2020-7-23	548	
地火转移	7个月	变远	
火星捕获制动	2021-02-11	1.95亿	10.8min
进入停泊轨道	2021-02-11	2.10亿	11.7min
两器分离	2021-04-23	2.95亿	16.5min
火面着陆	2021-04-23	2.95亿	16.5min
驶离至火面	2021-04-30	2.95亿	16.5min

任务概述—各飞行阶段

① 发射段

② 地火转移段

③ 火星捕获段

④ 火星停泊段

⑤ 离轨着陆段

⑥ 科学探测段

地火转移段
离轨着陆段

地球

火星

火星捕获段

火星停泊段

科学探测段（中继通信轨道）

科学探测段（遥感使命轨道）

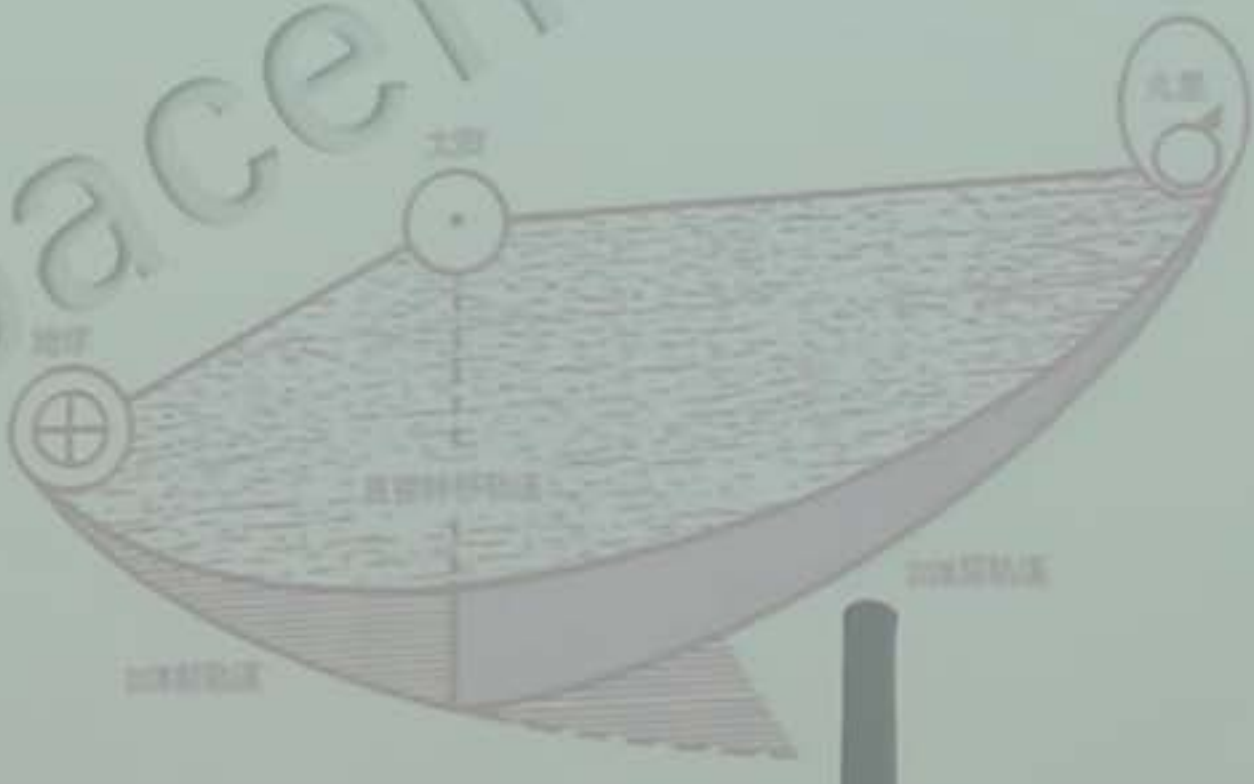
任务概述—飞行轨道

1) 发射段 (约30min)

- 发射日期：2020年7月23日至8月5日，连续14天
- 发射窗口：每天连续3个窗口，宽度 $\pm 5\text{min}$

2) 地火转移段 (约7个月)

- 最大限度发挥运载能力，“短转移+深空机动”轨道类型



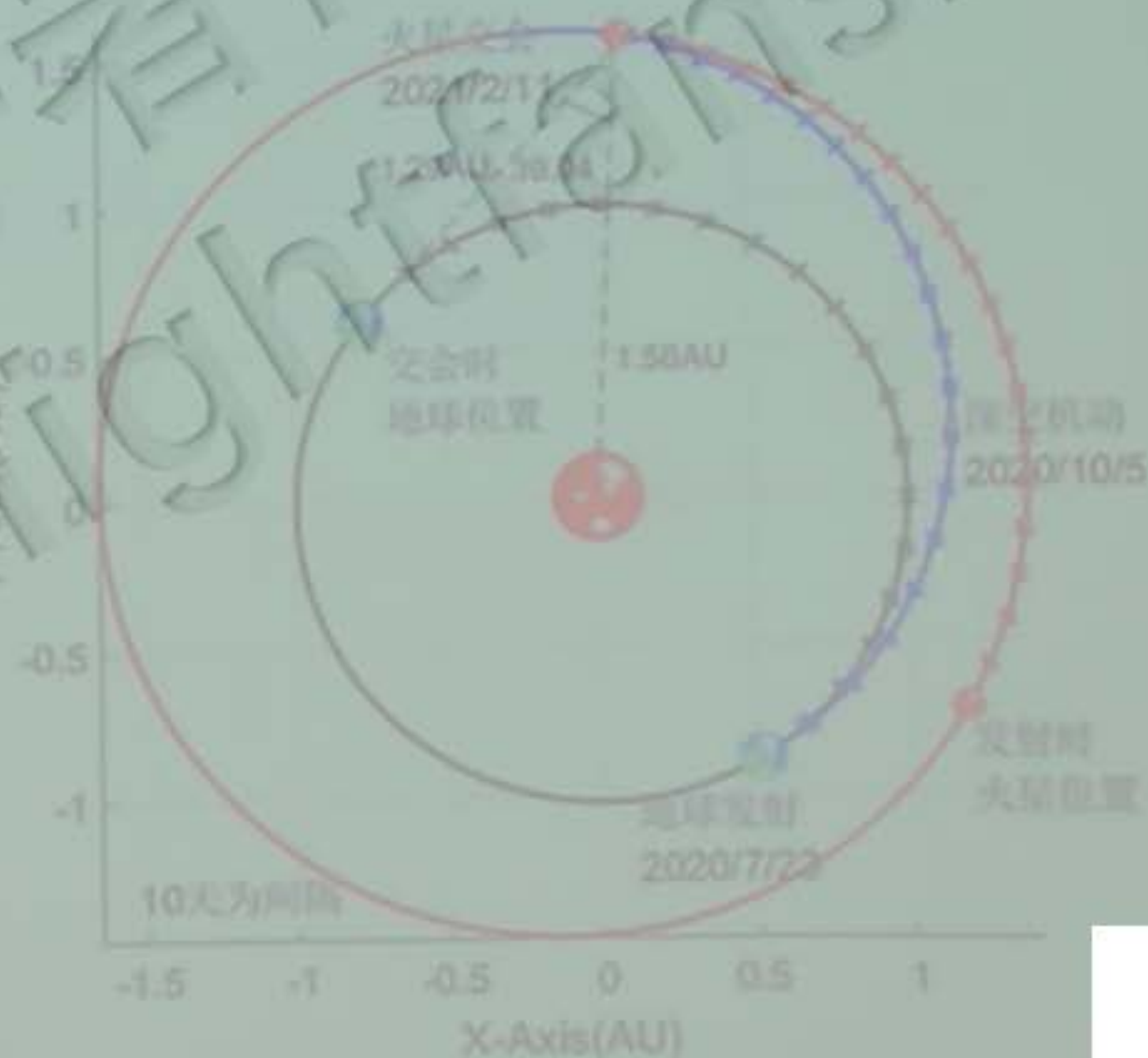
任务概述—飞行轨道

3) 火星捕获段 (约40h)

- 捕获近火点高度: 400km
- 捕获轨道倾角: 11.8°
- 捕获轨道周期: 10天

4) 火星停泊段 (约2-3个月)

- 轨道近火点高度: 265km
- 轨道倾角: 86.9°
- 轨道周期: 2天
- 在停泊轨道上运行2~3个月, 完成着陆区预探测等着陆前准备工作



任务概述—飞行轨道

5) 离轨着陆段

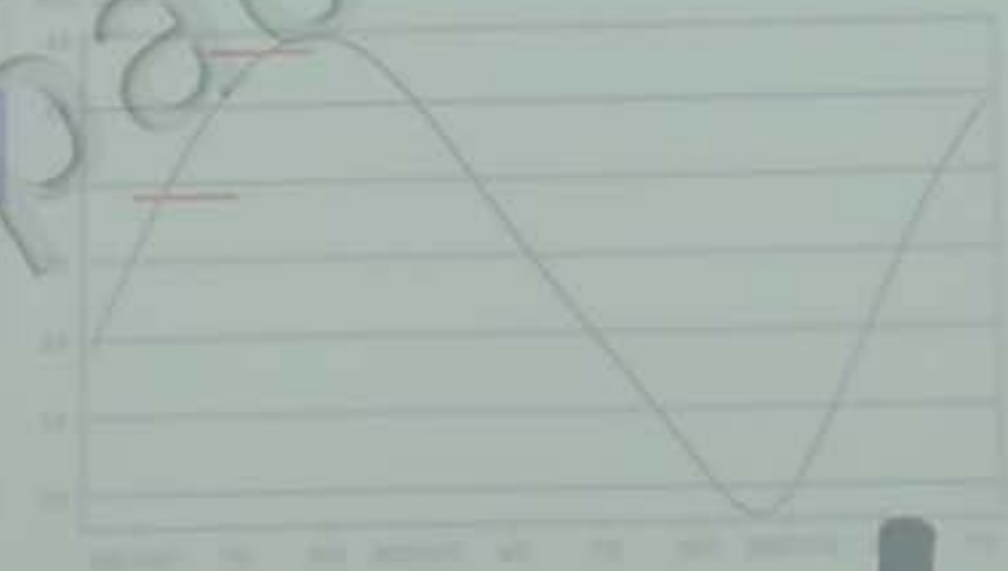
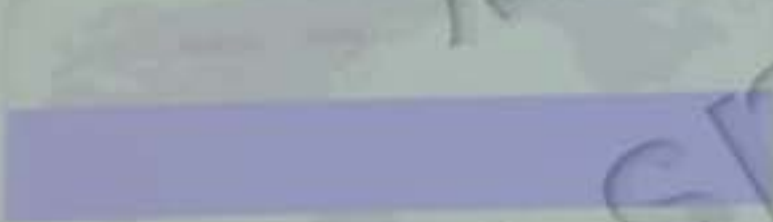
- **进入时机**：停泊轨道运行~2个月，择机实施
- **分离时机**：进入火星大气前5小时，实施降轨和分离

6) 科学探测段

- **中继通信轨道**：周期8.2h，倾角 86.9° ，近火点265km；**保证火星车-环绕器通讯关系**
- **遥感使命轨道**：周期7.8h，倾角 86.9° ，近火点265km；利用火星重力场特性实现**近火点漂移，实现对火表覆盖探测**

任务概述—飞行轨道

- 测控覆盖情况：除近火捕获外，其余各次变轨均在地面测控弧段内
(火星捕获制动过程：近火点前约7min出现遮挡，持续约41min)
- 日凌分析：2021.9.23~10.23，约30天 (SEP角小于 5°)
- 地火距离：最远约4亿千米 (2021.9.20)；最近约0.8亿千米 (2022.12.1)



环火段SEP变化



环火段SEP变化示意图



任务概述—着陆区初选

- **工程角度**：在综合权衡地形地貌特征、光照条件、着陆风险与火星车行走避障能力要求等3方面因素后，初选出下述**两个较大的着陆区域**
- **科学角度**：着眼于科学探测预期成果提出对落区选择倾向
- **选择原则**：科学与工程权的衡，侧重工程实现风险低、代价可接受



任务概述—探测器结构示意图

二、任务概述—探测器构型示意



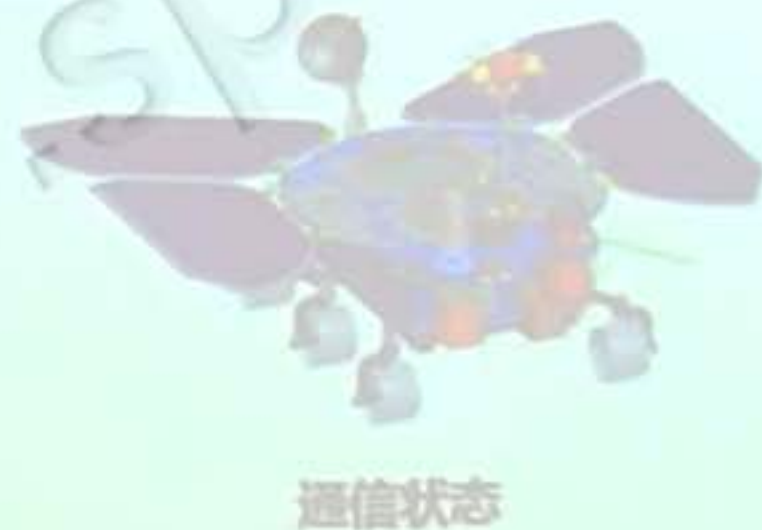
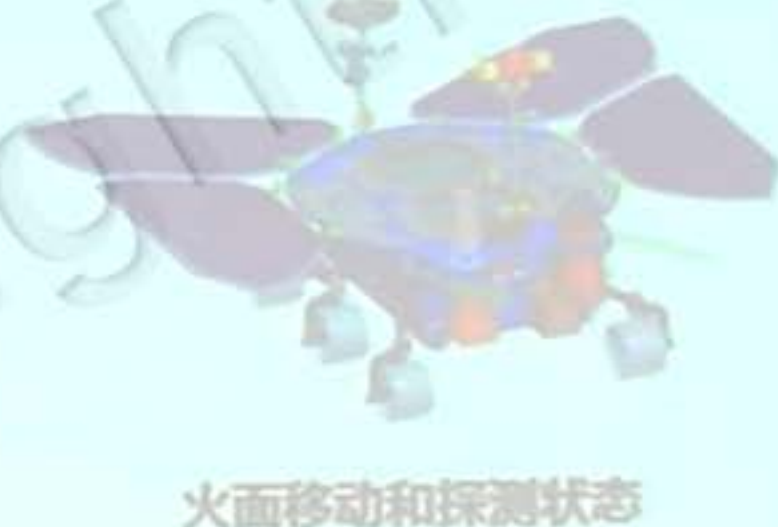
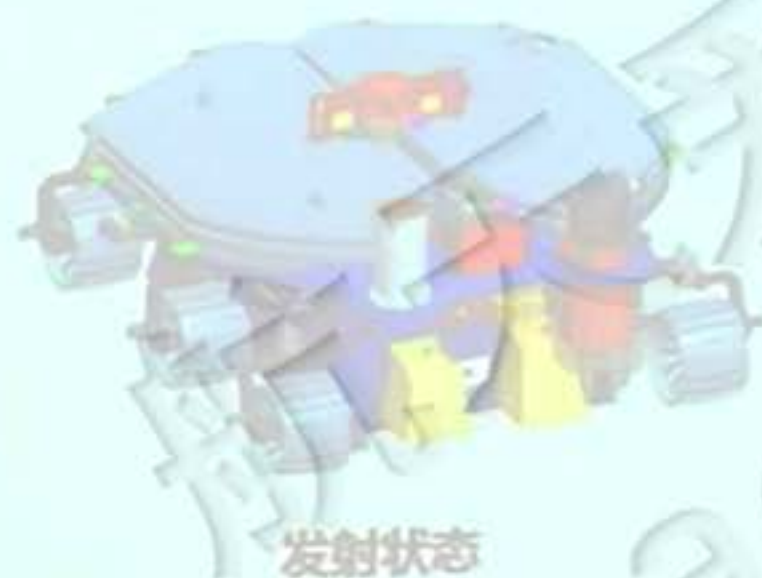
任务概述—探测器结构示意图



进入舱：球锥大底+球锥背罩，包络 $\Phi 3400\text{mm}$ ，高度 2607mm

任务概述—探测器结构示意图

- 火星车：箱板式构型，包络 $2000\text{mm} \times 1650\text{mm} \times 800\text{mm}$
- 太阳翼：展开状态下“蝶”形构型

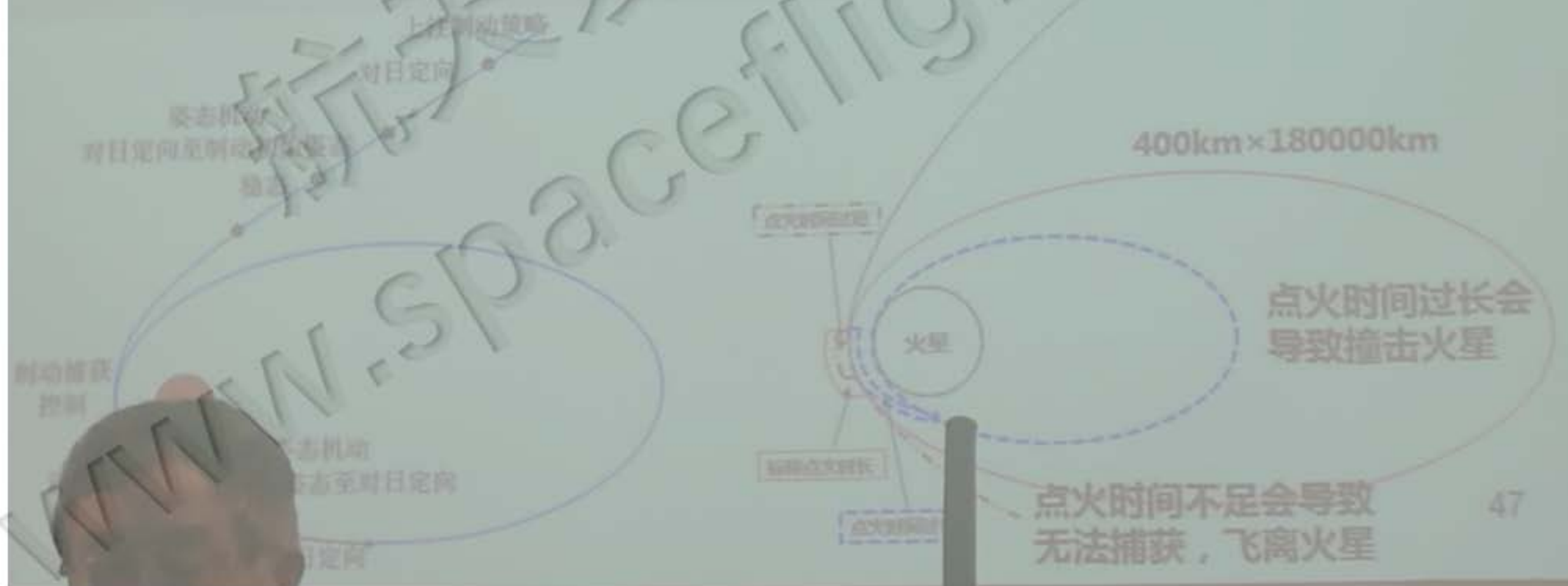


任务描述--环火星捕获过程



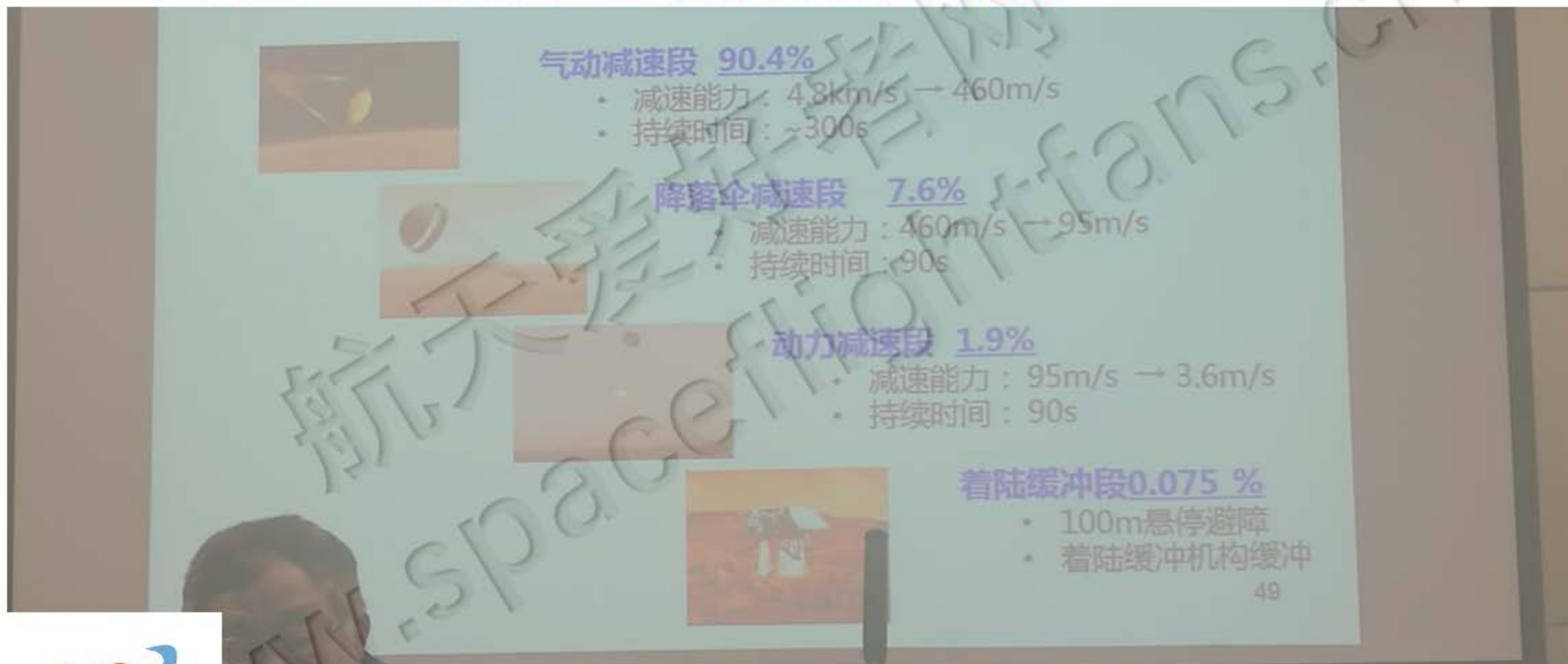
捕获制动过程：

- 姿态基准：以“地面无线电测控+星上轨道逆推”为主
- 推力控制：3000N发动机，点火时间约14min
- 安全设计：继承探月工程，采用“惯导与时间双关机”策略
- 测控条件：全自主完成（顺延10分钟，近火点前7分钟出现遮挡）



任务概述——EDL过程

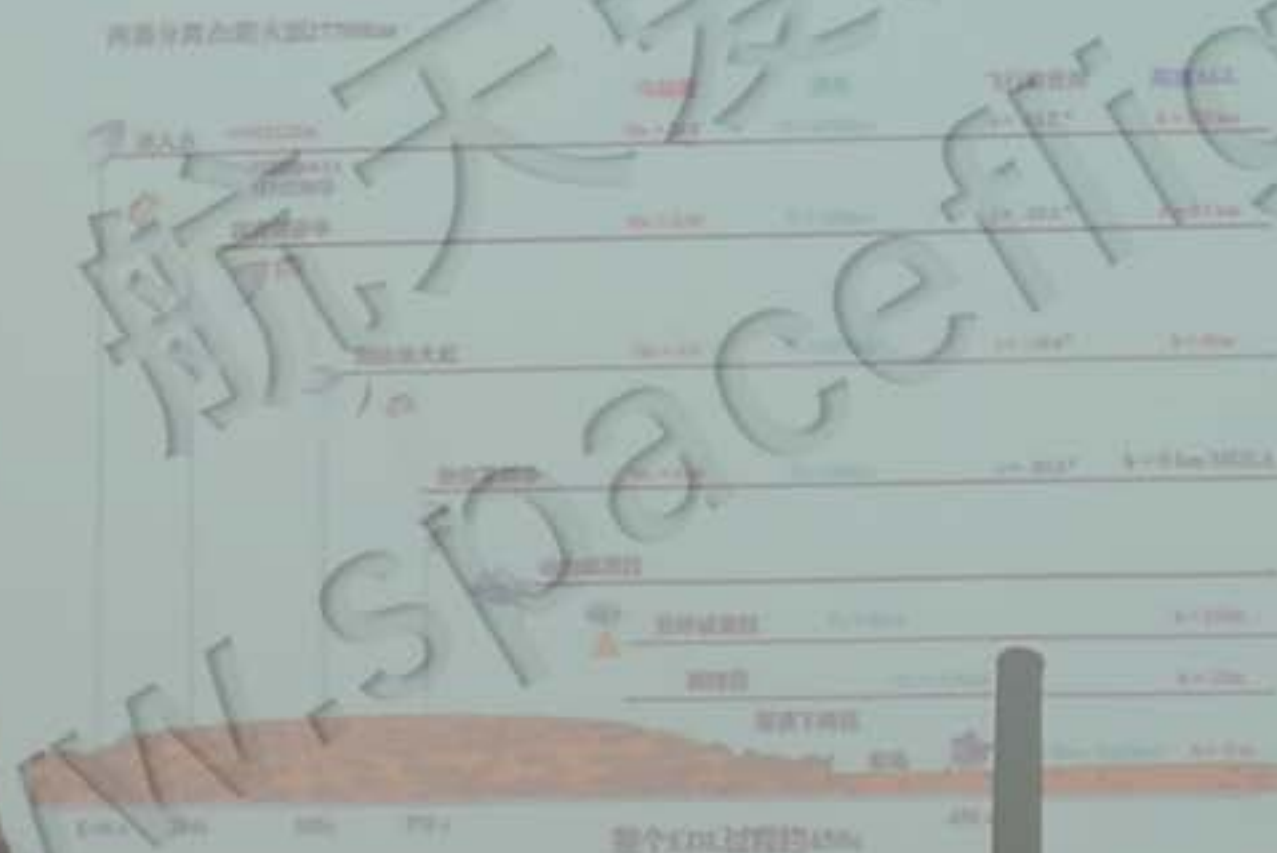
减速总需求 **4.8Km/s** ; 采用**四级减速手段：气动+降落伞+动力+着陆缓冲**



任务概述——EDL过程

各飞行阶段转换：

- **进入条件**：高度 = 125km时刻，进入角 $11.2^{\circ} \pm 0.2^{\circ}$
- **开伞条件**：马赫数 = 2时刻，高度大于4km
- **抛伞条件**：高度 = 1.5km时刻，组合体速度 $< 95\text{m/s}$
- **缓冲条件**：垂直速度 $\leq 3.6\text{m/s}$ ，水平速度 $\leq 0.9\text{m/s}$



50

任务概述——火星车释放分离

火星车释放分离段

- **交互策略**：落火当天以器上自主为主，3个火星日后建立UHF器间通信链路
- **驶离策略**：9个火星日完成驶离至火面；15个火星日内完成初期数据下传



任务概述——火星车工作模式

工作模式：

晴朗天气（光深 <0.5 ），火星车正常工作，工作模式包括待机/充电、环境感知、移动、探测、通信、火夜6种

沙尘天气（光深 $0.5\sim0.8$ ），进入最小工作模式

重度沙尘天气（光深 >0.8 ），火星车自主断电休眠

任务周期

第一个火星日：环境感知、数据下传

第二个火星日：移动、数据下传

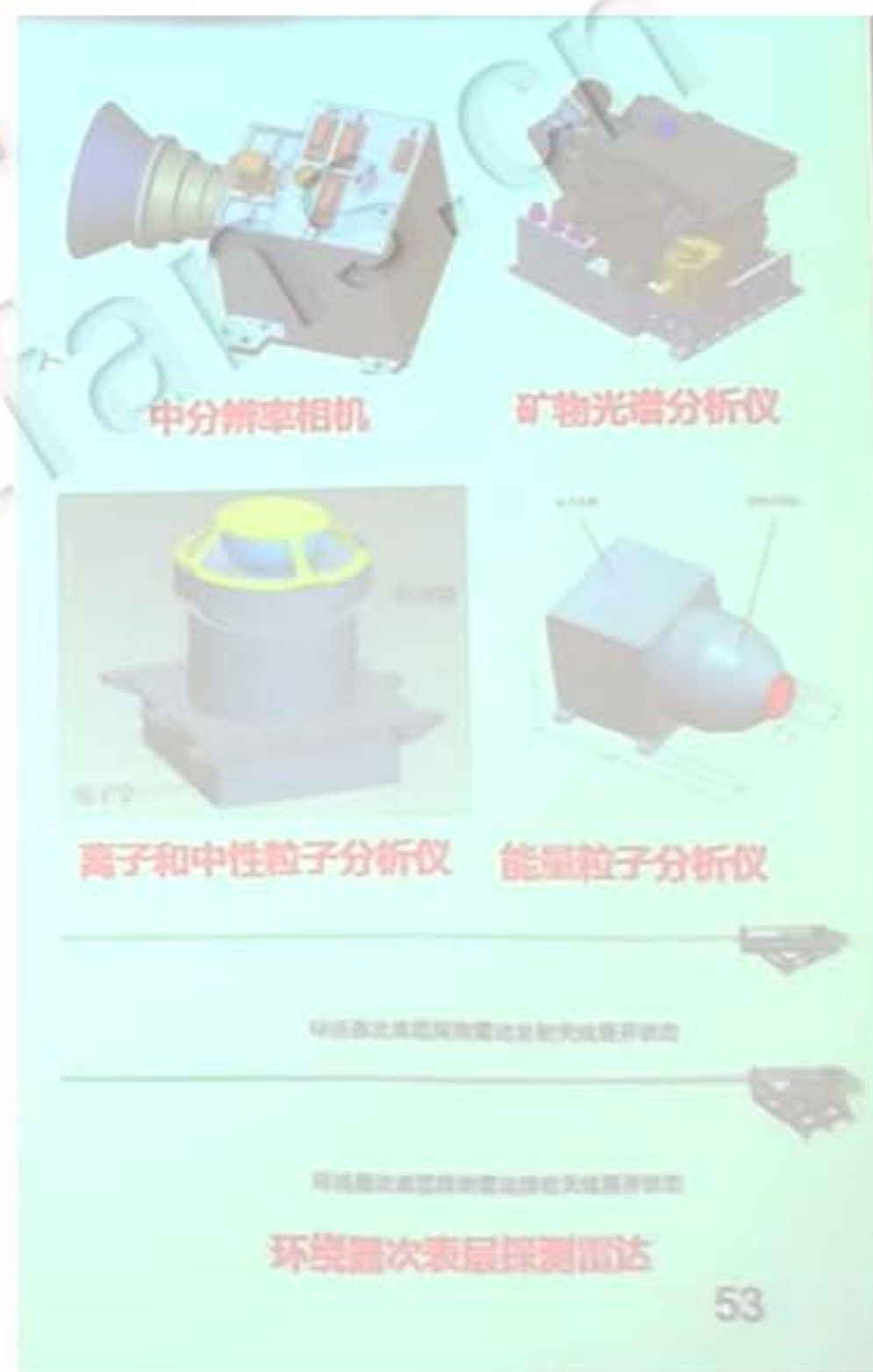
第三个火星日：科学探测、数据下传

考虑到太阳发电能力衰减，寿命默契，以**6个火星日**作为一个任务周期



任务概述——有效载荷（环绕器）

环绕探测科学任务	载荷配置（7类）
火星地形地貌特征及其变化探测器	中分辨率相机(100m@400km) 高分辨率相机(全色分辨率2m) 环绕器次表层探测雷达
火星表面和地下水冰的探测	环绕器次表层探测雷达 火星矿物光谱分析仪
火星土壤类型分部和结构探测	环绕器表层探测雷达 火星矿物光谱分析仪 中分辨率相机
火星大气电离层分析及行星际环境探测	火星磁强计 火星离子与中性粒子分析仪 中分辨率相机
火星表面物质成分的调查	火星矿物光谱分析仪 中分辨率相机

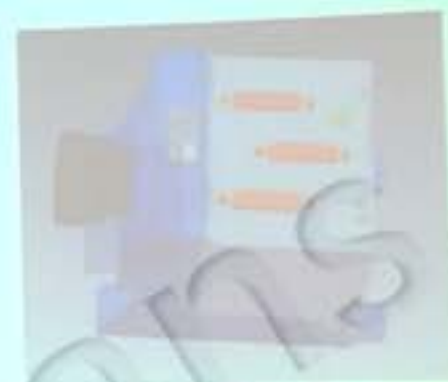


任务概述——有效载荷（火星车）

巡视探测任务	载荷配置
火星巡视区形貌探测	导航地形相机
火星巡视区土壤结构（剖面）探测和水冰探查	次表层探测雷达
火星巡视区表面元素、矿物和岩石类型探测	火星表面成分探测仪 多光谱相机
火星巡视区大气物理特征与表面环境探测	火星表面磁场探测仪 火星气象测量仪



多光谱相机



导航地形相机



火星车次表层探测雷达

低频雷达



高频雷达

34

任务概述——测控通信与数据传输

直接对地链路（X频段）

环绕器：深空应答器、低/中/高增益天线组合

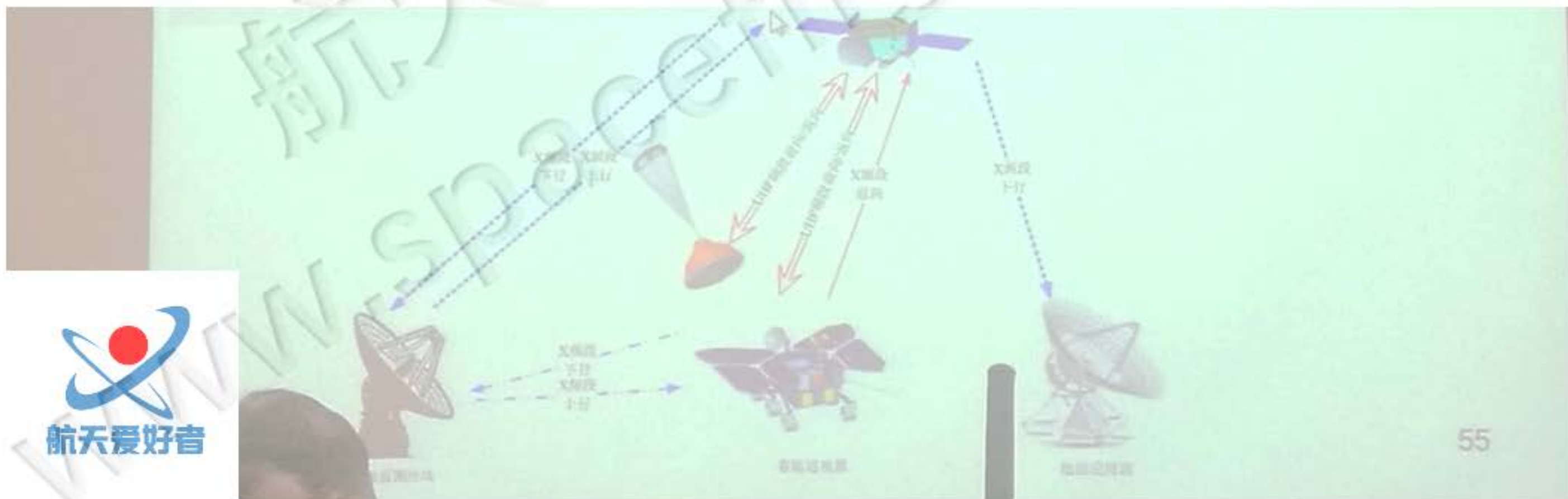
火星车：低增益接收和定向收发天线，完成对地测控



器间通信链路（UHF+X频段）

UHF频段（双向）：CCSDS邻近链路协议，自适应调整

X频段（单向）：复用火星车对地下行链路，两者分时工作



任务概述——测控通信与数据传输

环绕器测控设计：配置低增益收发天线/中增益发射天线/高增益收发天线组合

应用；配置固态放大器（主动段和入轨初期）和行波管放大器。

正常测控模式：上行2000bps，下行16384bps

应急测控模式：上行7.8125bps，下行32bps（编码后）

数传码率：16k~4096kbps（编码后），多档可选

火星车测控设计：直接对地 + 器间链路至环绕器

➤ **直接对地链路：**信息码速率约16bps，主要用于传输工程遥测判断状态

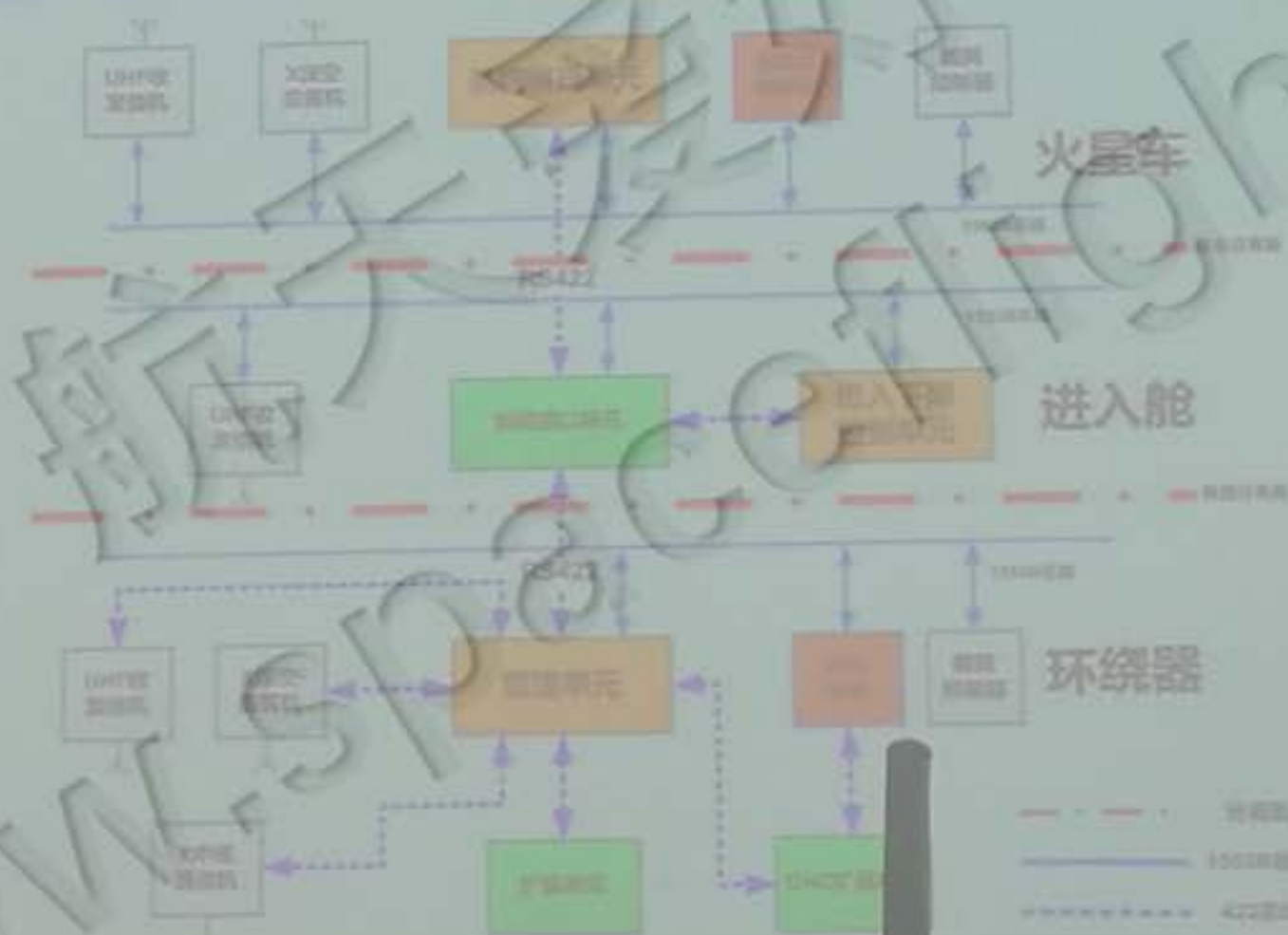
➤ **器间UHF链路：**每天与环绕器通信1次，每次约8-10分钟，平均20Mbit

➤ **器间X链路：**受能源约束，在火星表面每3天安排与环绕器远火弧段通信1次，

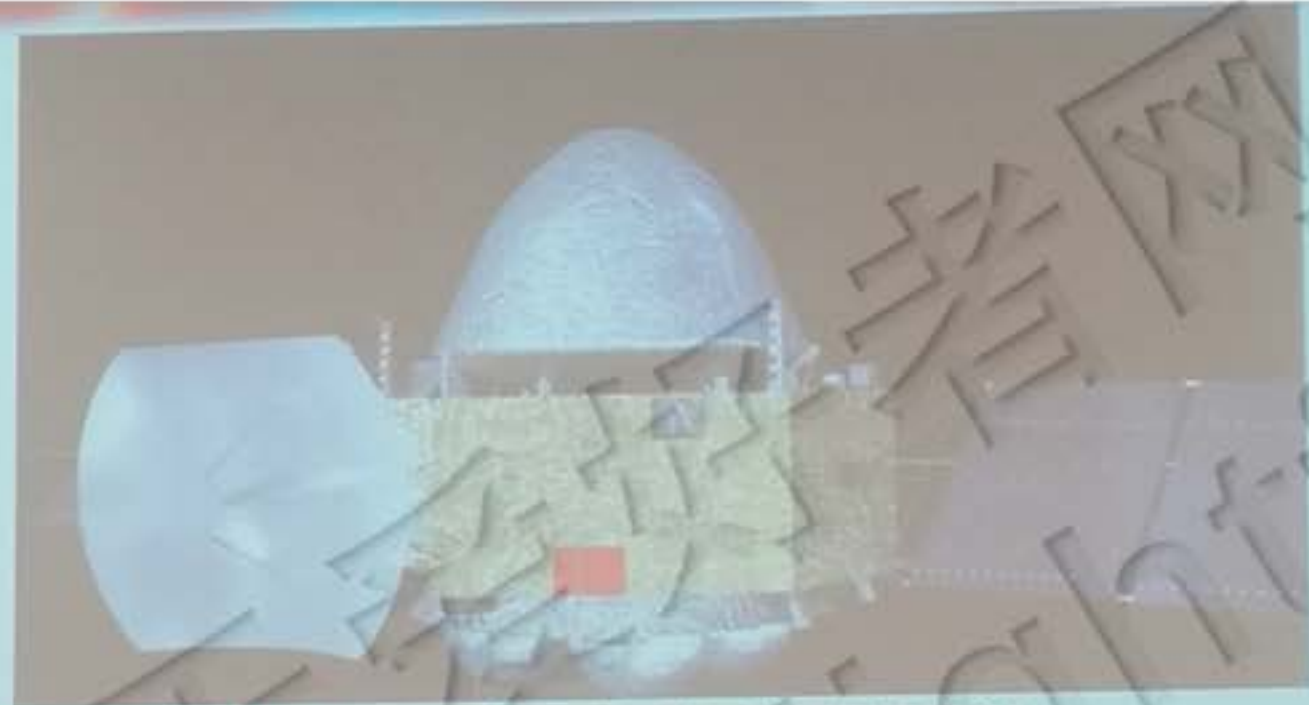
每（约15000km，32kbps），共50Mbit

任务概述——信息系统体系

- 环绕器：管理单元为管理中心、GNC单元为控制核心
- 进入舱：进入下降控制单元为EDL过程控制核心、数据接口单元与环绕器管理单元通信，完成着陆前信息管理
- 火星车：系统管理单元为火星车管理中心、导航控制单元为巡视规划核心



任务概述——工程展示及测量



转移段探测器本体国旗拍摄 (环绕器上回拍测量摄像头)



月合影成像 (环绕器上分离测量摄像头)



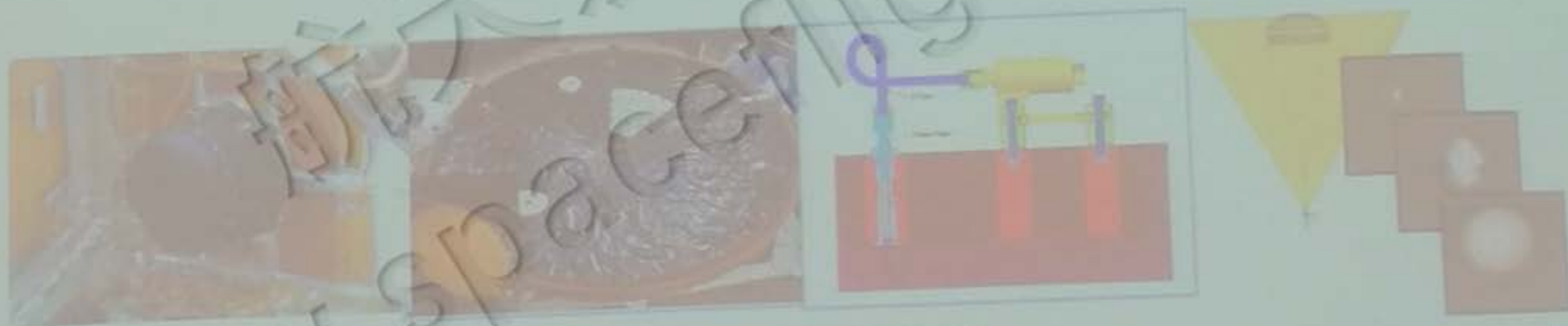
捕获段之星成像 (环绕器上光学导航敏感器)

58

任务概述——工程展示与测量

服务于工程参数反演的项目：

- 气动减速过程气动力、气动热等参数测量及反演
- 伞系减速过程伞拉直/充气时间、喘振频率等伞系参数测量及反演
- 弹伞、开伞、着陆冲击载荷测量



加计

大底上测温、测压传感器

任务概述—与国外同类探测器比较

项目	海盗号	探路者	MER (勇气 机遇)	凤凰号	MSL	着陆巡视器
进入重量	981kg	570kg	840kg	573kg	3353kg	1285kg
进入方式	<ul style="list-style-type: none">• 弹道升力式	<ul style="list-style-type: none">• 弹道式	<ul style="list-style-type: none">• 弹道式	<ul style="list-style-type: none">• 弹道式	<ul style="list-style-type: none">• 弹道-升力式• Apollo制导	<ul style="list-style-type: none">• 弹道升力式• 配平翼
伞系直径	16.2m	12.7m	14.1m	11.8m	21.5m	15.96m
着陆前制动	发动机	固体火箭	固体火箭	发动机	发动机	发动机
着陆缓冲方式	腿式缓冲	气囊缓冲	气囊缓冲	腿式缓冲	空中吊车	腿式缓冲
着陆精度	280km×100km	200km×100km	150km×25km	100km×20km	20km×10km	100km×20km
着陆速度	<2.4m/s(垂直) 1m/s(水平)	<12.5m/s(垂直) 20m/s(水平)	<8.5m/s(垂直) 11.5m/s(水平)	<2m/s(垂直) 0.7m/s(水平)	<0.75m/s(垂直) 0.5m/s(水平)	<3.6m/s(垂直) 1m/s(水平)



任务概述——与国外同类探测器比较

比较项目	MER (勇气、机遇)	Curiosity (好奇)	兔子的
重量	174kg	899kg	240kg
悬架方式	被动悬架	被动悬架	主动悬架
移动方式	直线行驶/原地转向/行进间转向	直线行驶/原地转向/行进间转向	直线行驶/原地转向/行进间转向/蟹行/蠕动
最大速度	180m/h	200m/h	200m/h
导航速度	30m/h	40m/h	40m/h
越障高度	25cm	65cm	30cm
爬坡角度	20°	30°	30°
能源形式	蓄电池/太阳能电池/RHU	蓄电池/RTG	蓄电池/太阳能电池
通信能力	对地码速率：1850bps 对环绕器码速率：8k~256kbps	对地码速率：15bps~800bps 对环绕器码速率：2kbp~256kbps	X频段码速率：32bps~4Mps UHF码速率：1kbps~2048kbps
设计工作时间	90火星日	1火星年	90火星日



关注的技术问题——任务顶层特点

任务需求	月球探测	火星探测
飞行距离更远	40万km	4亿km
自主需求更高	通信单程1.35秒	日凌：最远单程22分钟
任务环境复杂	真空环境 光照强 月面地形 1/6重力	稀薄大气、多尘、风光照弱 火面复杂地形 3/8重力
减速要求更高	12分钟 15km→月面 减速 1.7km/s	7~8分钟 125km→火面 减速4.8km/s

关注的技术问题——任务顶层难点



任务起点高 技术跨度大

- ◆ 以此实现“绕着巡”，多任务耦合设计，难以兼顾
- ◆ 任务固有风险大，国际火星任务成功率仅为52%
- ◆ 发射规模最大，有效着陆质量仅次于好奇号，环火探测能力与国际相当



任务环境新 不确定性大

- ◆ 火面诸多新环境，不确定性大
- ◆ 目前设计没有准确一手设计



关键环节多 攻关难度大

- ◆ 关键性、唯一性环节多：捕获制动、器箭分离、EDL过程开伞、动力减速等
- ◆ 全新气动外形、新型盘缝带伞、新式主动悬架、行星际测控等7类18项关键技术



研制周期短 试验难度大

- ◆ 专项试验项目多、试验规模大：气动验证、降落山火箭弹飞行验证试验等
- ◆ 火星环境困难，试验难度大，存在部分火星环境不负综合模拟问题