

长风破浪会有时

中国超音速临近空间飞行器行业 研究报告

2021年

研究范围界定

临近空间飞行器由航空与航天技术深度结合发展而来

临近空间是指距离地面20-100公里的空域，不在传统航空和航天的覆盖范畴内，是人类尚未进行大规模利用的空白区域。临近空间不仅从空间层面连接着天空和太空，同时也将航空与航天的技术进行深度融合。临近空间飞行器（临空器）是指在临近空间空域内飞行并执行特定任务的飞行器。从广义上讲，我们将临近空间内飞行速度超过1.2马赫的各类飞行器统称为超音速临近空间飞行器。

研究范围界定



注释：马赫数（Ma）是物体速度和当地音速的比值， $Ma < 0.8$ 属于亚音速范围， $0.8 < Ma < 1.2$ 属于跨音速范围， $1.2 < Ma < 5$ 属于超音速范围， $Ma > 5$ 属于高超音速范围。
来源：艾瑞咨询研究院根据互联网公开资料绘制。



美国从国家战略和国家安全方面考量大力发展超音速临空器；高超音速临空器研制难度高，美国发展并非一帆风顺。我国未来对于临近空间开发的政策支持将更为广泛且深入。



固发是当下主流方案，未来液体和组合动力是发展趋势；面对称构型的优良升阻比和机动性更加适合高超音速飞行；防热难点是抵抗长时间受热的同时，兼顾气动外形与经济性。



超音速临近空间飞行器种类分为探空火箭、试验平台、太空旅游及超音速客机。探空火箭在大气环境探测和微重力试验方面具有显著优势；缺少低成本、高响应速度的飞行试验平台是行业痛点；太空旅游逐渐大众化，商业运作即将到来；超音速客机发展的诸多因素已经拥有相应解决方案。



以飞行试验为切入点，进而拓展太空旅游和超音速客机领域对于国内初创企业更为稳妥。

超音速临空器行业概述 1

超音速临空器核心技术 2

超音速临空器市场分析 3

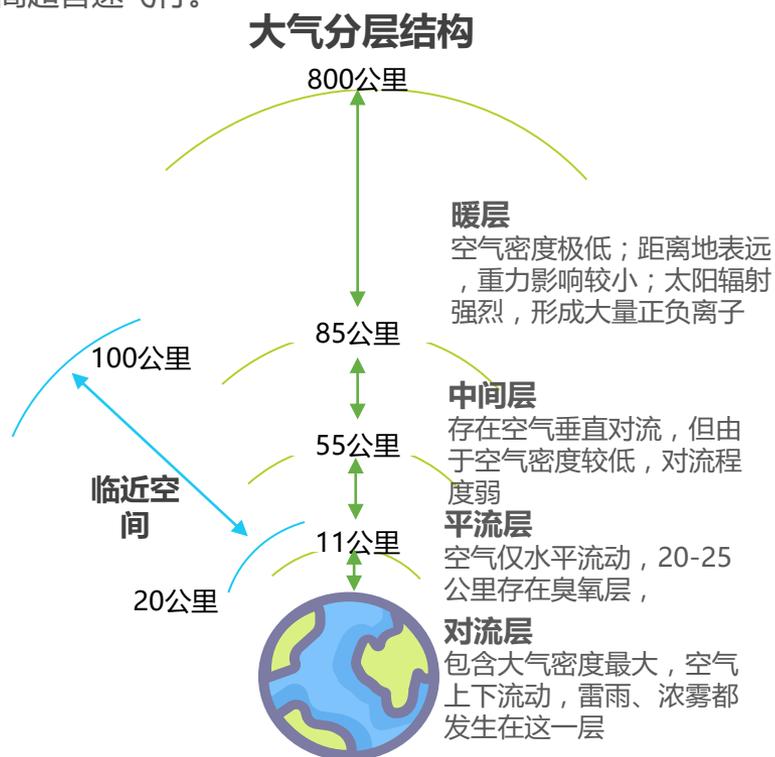
超音速临空器企业案例 4

超音速临空器发展路线 5

临近空间环境特点

环境差异导致航空、临近空间、航天存在应用差别

航空、临近空间与航天的环境差异导致三者存在较大应用区别。传统航空0-20km高度区间，存在稠密大气，较强的气动阻力很难实现高超音速飞行，因此航空器主要用于亚音速的商业运输。传统航天大于100km高度，大气稀薄，航天器无法利用气动力进行控制，仅能依靠动力进行控制，机动性能较差，因此运载火箭主要用于天地间运输。临近空间20-100km，存在少量的大气，环境介于航空航天两者间，在此空间内可以在较小的气动阻力下，增加气动力控制，从而实现长时间的高超音速飞行。



航空、临近空间及航天环境特点对比

航空	临近空间	航天
<ul style="list-style-type: none">航空高度范围内，空气稠密，航空器主要依靠空气动力产生升力并进行飞行器机动控制空气密度高，导致飞行阻力大，难以以高超音速进行飞行	<ul style="list-style-type: none">临近空间高度范围内，空气较为稀薄，临空器主要可以依靠空气动力进行飞行器机动控制空气密度低，气动阻力较小，足够的升力可以支持长时间高超音速飞行	<ul style="list-style-type: none">航天高度范围内，几乎没有空气，只能依赖各类动力装置进行控制基本无空气，需要全程使用自身动力来实现高速飞行

超音速临空器面临的环境影响

- 边界层转捩，是指靠近飞行器壁面的薄层，从层流转化为湍流的过程。飞行马赫数增加将会导致边界层转捩加剧，摩擦阻力增加，引起热流增加，侧向稳定性降低
- 等离子鞘套，是由于气动加热，贴近飞行器表面的气体和飞行器材料表面分子被分解和电离形成的，其具有吸收和反射电磁波的能力，会导致地面与飞行器之间的无线电通信中断

注释：对流层高度随季节和纬度变化，低纬度平均17-18公里；中纬度10-12公里；高纬度仅8-9公里。
来源：《临近空间环境对临近空间飞行器的影响》，互联网公开资料。

超音速临空器类型及特点

超音速临空器的科研应用日趋成熟，商业应用即将开始

超音速临近空间飞行器种类分为探空火箭、试验平台、武器装备、太空旅游及超音速客机。探空火箭目前技术和市场发展较为成熟。试验平台相对于探空火箭具有更强控制能力，飞行距离和飞行速度均高于探空火箭，基于这一特点可以向客户提供临空器提供气动、防热、电磁环境影响、控制制导等方面的飞行验证服务。国外太空旅游企业已开展适航验证，有望于两年内开展商业运营。高超音速客机在全球范围内技术尚不成熟，尚未进行商业化普及，目前波音等国外公司正在进行概念机研制阶段。

超音速临近空间飞行器对比

			产品特点	发展现状	应用范围
超音速临近空间飞行器	探空火箭		<ul style="list-style-type: none">• 技术门槛低• 对火箭控制要求不高• 对发动机要求不高• 对产品可靠性要求不高• 探空火箭价格低廉	<ul style="list-style-type: none">• 中国自1958年开始研制探空火箭，国内发展较成熟• 新余国科、中天火箭两家从事探空火箭的公司已上市	<ul style="list-style-type: none">• 大气参数测量、微重力实验、增雨防雹、科学教育等
	试验平台		<ul style="list-style-type: none">• 技术门槛高• 对工程经验要求高• 对发动机要求低• 对产品可靠性要求高• 对创新能力要求高• 试验平台价格较低	<ul style="list-style-type: none">• 目前国外Launcher One和X-60A已提供飞行试验服务• 国内星际荣耀及凌空天行均曾先后发射试验平台	<ul style="list-style-type: none">• 大型试验飞行器、动力系统、单机、结构、材料、算法等的搭载性试验
	太空旅游飞行器		<ul style="list-style-type: none">• 技术门槛高• 对发动机要求高• 对产品可靠性要求高• 太空旅游飞机价格较高	<ul style="list-style-type: none">• 国外维珍银河、蓝色起源等多家公司已开展适航验证• 国内星际荣耀、凌空天行等公司均提出过相关概念	<ul style="list-style-type: none">• 商业化的高端太空旅游服务，体验短暂失重等
	超音速客机		<ul style="list-style-type: none">• 技术门槛高• 对发动机要求高• 对产品可靠性要求高• 乘坐体验要求高• 运营经济性要求高• 超音速客机价格较高	<ul style="list-style-type: none">• 美国湾流、Boom、波音尚在进行研制中• 国内尚未开展研制	<ul style="list-style-type: none">• 常态化的洲际高速航班运输，2-4小时完成洲际旅行

来源：专家访谈、互联网公开资料。

美国高超音速临空器发展历程

高超音速临空器研制难度高，美国发展并非一帆风顺

美国高超音速临空器设计方案最早由钱学森提出，此后美国在高超音速临空器投入大量人力、物力，但很多计划都遭遇滑铁卢。美国在NASP项目失败后，通过将高难度目标拆解成为多个项目，每个项目仅研究1-2个关键技术并通过大量试验进行研究的方式进行技术积累与储备。另外，国防部和NASA引入竞争机制，各单位提出不同的方案，由国防部和NASA最终在充分考虑经费、技术等多方面因素后选择最优的方案进行研发。由于保持长期的竞争，可以打破垄断，更能充分发挥各单位的能力，达到共同进步。

美国超音速临空器发展历程分析

以火箭发动机为推进动力，具有进入近地轨道和再入大气层滑翔能力的一类飞行器：

- 1955年，空军、海军及北美航空公司联合研制X-15型飞行器，共进行199次试验，并创造6.72马赫速度纪录
- 20世纪60年代，波音提出一种可重复使用的航天飞机X-20计划。该计划对高超音速再入段的气动加热和结构强度进行了多次飞行试验，获得了丰硕成果

通过火箭助推器将飞行器推进至大气层外，待助推器分离后飞行器依靠自身气动外形进行远距离机动滑翔的飞行器：

- 1966年，马丁·玛丽埃塔公司研制X-23飞行器首飞，采用升力体结构，由Atlas火箭运载，研究再入大气层机动特性
- 1969年，马丁·玛丽埃塔公司研制X-24飞行器首飞，采用液体火箭发动机，用于研究升力体无动力滑行和再入

吸气式高超音速飞行器是以超燃冲压发动机为动力的一类高超音速飞行器。该类飞行器的主要应用前景是战术巡航导弹和察打一体无人飞行器：

- 1984年，NASA提出了国家空天飞机(NASP)发展计划，这是一种单阶入轨以氢为燃料的吸气式高超音速飞行器。
- 2000年，NASA提出以超燃冲压发动机为动力的X-43A，设计速度可达马赫数7-10，飞行高度在29-34km之间

空间轨道机动飞行器、助推滑翔再入飞行器、吸气式高超音速飞行器同步发展：

- 空间轨道机动飞行器X-37B从2010年至今共成功升空6次，累计在轨2865天，其飞行目的尚未公开（第6次未着陆，固没有统计）
- X-51A是一种乘波体结构的超燃冲压发动机技术验证飞行器，由波音公司开发，最大飞行速度为马赫数6，进行4次飞行，其中三次失败

空间轨道机动飞行器

01

20世纪50-60年代

助推滑翔再入飞行器

02

20世纪60年代中期-80年代中期

吸气式高超音速飞行器

03

20世纪80年代后期-21世纪10年代

多种临空器并行发展

04

21世纪10年代年至今

来源：《临近空间高超音速飞行器发展及关键技术研究》，《美国高超音速飞行器发展历程研究》，互联网公开资料。

美国发展超音速临空器原因探究

美国从国家战略和国家安全方面考量大力发展超音速临空器

美国从国家战略和国家安全两个方面的因素考量，大力发展超音速临空器。自从美国调整全球战略之后，实行了“重返亚太”的战略，其主要目的是针对中国。特朗普时代即将终结，然而中国竞争中合作的格局不会改变。当下我国更要跟上时代发展的步伐，大力发展超音速临空器技术，只有掌握了这一具有战略威慑力量的技术，实现中华民族的伟大复兴的远景才能得到保障。

美国发展超音速临空器原因

配合国家战略

- 保持美国强大的创新能力是美国极为重要的发展战略，高超音速技术需要融合气动、推进、材料、制导等多学科最新技术，发展超音速临空器符合美国创新战略需求。
- 服务于美国空天发展战略。随着新兴国家在空天领域不断发力，美军逐渐丧失空天领域的绝对主导权，因此美国成立太空军以应对。建立太空军后，空天发展将获得更大的预算分配权；更高协调决策权；独立的人事安排权。届时美国空天领域发展将进一步提速。

国家安全考量

- 美国积极发展以超音速临空器技术为依托的高超音速武器。因高超音速武器具有难以探测、难以跟踪、难以拦截的特性，将作为美国战略威慑的中坚力量，具有重大的战略意义。
- 美军未来的战略中，由于作战范围全球化的趋势越来越明显，所以远程精确打击是美军战略的重要组成部分。在未来战争中，全球任何地点都有可能成为美军要打击的目标。超音速临空器可迅速打击全球任何地点的任何目标，协助美国发展全球战略。

临近空间运载相关政策

临近空间运载进入十四五规划重点领域，地位不断提高

临近空间商业化发展得益于我国商业航天的开放。国家鼓励民间资本进入到商业航天领域，临近空间作为商业航天的其中一个细分方向实现同步发展。2019年国防科工局颁布的《促进商业运载火箭规范有序发展的通知中》，明确了亚轨道临近空间发射的相关要求。在2020年中央政治局颁布的“十三五”规划中，更是将临近空间所属的空天科技纳入重大科技项目中。可以预见到，我国未来对于临近空间开发的政策支持将更为广泛且深入。

临近空间运载行业相关政策法规

发布时间	发布部门	文件名称	相关内容
2015.10	航天综合	《关于国家民用空间基础设施中长期发展规划（2015-2025）的通知》	探索国家民用空间基础设施市场化、商业化发展新机制，支持和引导社会资本参与国家民用空间基础设施建设和应用开发。
2016.12	国家航天局	《2016中国航天》	提出发展原则：合理配置各类资源，鼓励和引导社会力量有序参与航天发展，科学统筹部署各项航天活动，推动空间科学发展。
2017.12	国务院办公厅	《关于推动国防科技工业军民融合深度发展的意见》	从进一步扩大军工开放，推动军品科研生产能力结构调整，引入社会资本参与军工企业股份制改造等七个方面提出了推动国防科技工业军民融合深度发展的具体政策措施。
2019.06	国家国防科技工业局 中央军委装备发展部	《关于促进商业运载火箭规范有序发展的通知》	对于没有航天器入轨的试验验证及相关发射试验，可依托和利用 国家有关部门和企业所属发射场或试验场 等设施，开展相关活动。任务实施前，商业火箭企业须与发射场或试验场就发射任务技术保障、安全保障等项协调一致，经相关主管部门批准后组织实施。
2020.10	中央政治局	《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》	瞄准人工智能、量子信息、集成电路、生命健康、脑科学、生物育种、 空天科技 、深地深海等前沿领域，实施一批具有前瞻性、战略性的国家重大科技项目。

来源：互联网公开资料。

超音速临空器行业概述

1

超音速临空器核心技术

2

超音速临空器市场分析

3

超音速临空器企业案例

4

超音速临空器发展路线

5

超音速临空器动力技术

固发是当下主流方案，未来液体和组合动力是发展趋势

目前较为成熟的发动机都存在一定的局限性：1.火箭发动机在低速阶段其比重较小，需要固定的发射装置或利用飞行平台挂飞发射，限制了高速飞行器的反应速度和灵活性，目前国内商用固发较为成熟，商用液发仍处于研发阶段；2.冲压发动机无法在静止状态下启动，在Ma3以下推进效率较低，需要辅助动力以实现推力的有效连续；3.涡轮发动机在亚音速、跨音速时具有较大优势，但无法在高超音速情况下运行。因此将以上几类发动机的不同单元和不同方式集成的组合动力发动机应运而生，但组合动力发动机研制难度大，全球范围内成熟度较低。因此国内民营企业目前仅能采用固体火箭发动机，但是固发不可复用性带来的高成本以及起飞阶段极高过载人体很难承受这两点劣势决定未来会被液发和组合动力替代。

临近空间发动机动力技术对比

	发动机简介	发动机技术特点	国内发展现状	
火箭发动机： 自带氧化剂和燃料的喷气发动机，即火箭发动机不依赖大气环境故能飞往太空，推力更大	固体火箭发动机	氧化剂、燃料、添加剂混合作为固体推进剂的推进系统	推力大，可长时间储存，但工作时间短，加速度大，推力不易控制，重复启动困难	目前国内天擎航天、凌空天行、零壹空间均实现固体发动机自主设计，已投产使用
	液体火箭发动机	采用液态化学物质作为能源和工质的化学火箭推进系统	比冲高于固发，推力可调，可脉冲工作，为重复使用带来可能，结构相对复杂	推力适合超音速临空器的液发目前掌握在国家队手中，民营企业仍处于研发阶段
吸气式发动机： 依赖大气中的氧气与自带的燃料燃烧以产生高速气流获得反作用推力，比冲更高，仅能在大气环境中运行	冲压发动机	利用高速气流进入发动机后提高静压并燃烧的推进系统	结构简单，重量轻，推重比大，适合高空高速飞行；但无法低速自启动	目前国内冲压发动机较为成熟，但民营企业很难实现采购
	涡轮发动机	在冲压发动机基础上增加压气机和涡轮，增加燃烧效率的推进系统	效率高，节油性能好；结构复杂，但不支持高超音速运行	目前大涵道比的商用涡扇发动机，已实现首飞装配，但较难应用于高超音速

来源：《组合动力空天飞行器关键技术》，互联网公开资料。

超音速临空器气动外形技术分析

面对称构型的优良升阻比和机动性更加适合高超音速飞行

面对称构型和轴对称构型是当前国内民营企业采用的两种主力气动外形。这两者相比，面对称构型拥有更高的升阻比，即在相同的飞行条件下（飞行环境、速度、姿态等），具有更高的升力、更小的阻力。这意味着在远距离巡航中，面对称构型可以节省更多的燃料。在机动性方面，面对称构型由于具有机翼可以利用空气舵进行机动控制，较轴对称构型机动性更强。然而面对称外形相较轴对称构型更加复杂，导致制造成本增加，制造时间提高。

超音速临空器气动外形对比

	 轴对称	 面对称
气动外形特点	轴对称构型由一条母线(光滑曲线或折线)围绕某轴回转而成的构型，旋转体的任一截面均系圆形的。	面对称构型是沿着某一对称面镜像对称而成的构型。
高超音速升阻比		
机动性		
外形复杂程度		
适用范围	运载火箭、探空火箭等	航天飞机、空天飞机、临近空间飞行器

面对称构型细分气动外形对比

	气动外形优点	气动外形缺点
升力体 	低速时能获得较高升阻比和较强机动能力；具有高热载荷、低热流率再入物理特性；在大迎角下和高超音速时有良好的气动力特性及高内部体积利用率	外形复杂，设计与制造比较困难；经济性差
翼身融合体 	气动阻力小，升阻比较高，结构重量轻、内容积大，有利改善飞行器的飞行性能：飞行稳定性好，翼身合体也有助于减小飞机的雷达反射截面积，改善隐身性能	外形复杂，设计与制造比较困难
乘波体 	高马赫数下具有良好的机动能力：升阻比高；在偏离设计条件下，仍能保持有利的气动性能：更适合使用喷气发动机或冲压发动机；隐身性能好	内部容积小；外形比较复杂，制造较为困难

来源：《亚轨道飞行器飞行方案研究》，《高超音速飞行器总体概念研究》，互联网公开资料。

超音速临空器防热技术

防热难点是抵抗长时间受热的同时，兼顾气动外形与经济性的

超音速临空器长时间以较高马赫数飞行，长时间空气摩擦形成极高的气动加热，进而导致相应的热应力和热变形，从而引发飞行器气动力发生变化。超音速临空器受到气动加热时间相较运载火箭有着数量级的提升，对于运载火箭难度较低的防热，在超音速临空器研制中防热则是一项关键性技术。目前主要有三种技术途径来解决这种问题，分别是主动冷却、半主动防热和被动防热。此外做好防热工作，需要大量飞行试验的经验数据，优化防热方法，进而实现防热的同时兼顾气动外形、重量以及经济性，避免造成不必要的冗余。

超音速临空器防热技术分析

防热方式介绍

应用范围

主动冷却

用于防热要求高的单机

- 发汗冷却和薄膜冷却：这两种方式由表面喷出的冷却剂吸收了大部分由于严重气动加热产生的热量，使其不能传至次层结构。差异在于发汗冷却通过多孔表面喷出冷却剂，薄膜冷却则从不连续的缝隙中喷出冷却剂。
- 对流冷却：冷却剂位于冷却结构中的管道进行循环，几乎全部的入射热量都是通过外蒙皮传入结构中的冷却剂的。此外，如果冷却剂就是燃料本身，热量并不消耗掉而是用来预热燃料

半主动防热

用于飞行器前缘等生热严重的结构

- 热管结构：适用于局部加热程度严重，而相邻较轻结构；热量在严重受热区被热管吸收，形成的蒸汽流向较冷端冷凝，又依靠毛细作用渗过管壁返回严重受热区循环利用
- 烧蚀结构：适用于表面气动加热十分严重的飞行器部件。该结构通过烧蚀引起自身的质量损失，吸收并带走大量的热量。但由于质量损失，烧蚀结构只能一次使用或要求重新进行修复

被动防热

用于飞行器外部整体防热及部分单机

- 热沉结构：吸收几乎全部入射热量，并将其储存在结构中，但仅限短时热脉冲状态，其特点是结构较简单可靠，能保持气动外形不变，但防热效率低
- 热结构：外蒙皮用耐高温材料制成，表面涂有高辐射率的涂层，以提高防热面的辐射散热能力。其特点是不受热脉冲持续时间的限制，但有总承受热量有限
- 隔热结构：兼有热沉结构和热结构二者的特征；表面辐射掉大部分入射热量，而隔热层阻止剩余的大部分向内传递，仅一部分热量传至次层结构，并以热沉方式存储

来源：《组合动力空天飞行器关键技术》，互联网公开资料。

超音速临空器回收方式

不同回收方式各有优劣，应用场景的不同导致回收方案差异

超音速临空器与火箭可采取的回收方式相同，分别是伞降回收、垂直返回及带翼飞回。三者都拥有各自的优势，伞降回收的最大优势在于保持运力同时节省成本；垂直返回方式适用于高落点精度的回收；带翼飞回拥有更好的重复使用性和载人安全性。三者应用的场景不同，会导致各企业采取的回收方式有所差别。

超音速临空器回收方式的特点对比

	回收技术难度	对总体设计影响	运载能力损失	发动机技术要求	回收过程复杂性	典型应用公司
伞降回收	 <p>主要难度在于降落伞和着陆缓冲装置的设计上，中国具有相关基础，技术难度较小。</p>	超音速临空器只需要提供降落伞系统、缓冲气囊的安装布局空间，对总体设计影响小。	由于增设的降落伞和气囊系统，以及飞行器的落区的要求，造成不超过10%的运载能力损失。	发动机无需再次启动，只是发动机在载入与着陆过程需要具有一定的抗过载和冲击的能力，需要对发动机做适应性加强设计。	降落伞控制精度较低，其落区范围较大，即使采用了落点精度较好的翼伞回收，其落区范围依然较大，需要开展一定的子级降落后的搜索工作。	<ul style="list-style-type: none">• Rocket Lab• 航天科技集团• 凌空天行
垂直返回	 <p>涉及到多种关键技术，例如高精度控制，对于中国当前基础来说，尚待攻关。</p>	飞行器尾部添加着陆支撑机构；同时还需要增加用于返回过程的控制系统和气动舵设计，贮箱内部增加推进剂管理系统。	贮箱中需要保留部分推进剂，将造成飞行器运载能力损失接近30%。	发动机在返回过程中需重启2-3次，由于过载和着陆精度等约束还需主发动机具备大范围推力调节的能力。	可实现着陆地点的精确控制，能够很好地控制飞行器回收落点位置，无需开展飞行器降落后的搜索。	<ul style="list-style-type: none">• SpaceX• 蓝色起源• 蓝箭航天• 星际荣耀
带翼飞回	 <p>复杂气动外形总体优化设计、高速再入过程控制技术、热防护系统设计以及二次动力系统设计是主要难点。</p>	需要综合翼面、舵面和着陆缓冲系统等方面对飞行器进行综合设计	结构上的变动带来重量增加，但是新增翼面在巡航过程中可以提供持续升力，有效弥补运力造成损失。	如采用火箭发动机，需要一定的推力调节能力，但不需要大范围推力调节；如采用组合动力发动机，可以完全符合需求	可实现着陆地点的精确控制，能够很好地控制子级回收落点位置，无需开展飞行器降落后的搜索。	<ul style="list-style-type: none">• 维珍银河• Boom• 湾流• 波音

来源：重复使用运载火箭技术与展望，“猎鹰9”运载火箭海上平台成功回收的分析及启示。

超音速临空器行业概述

1

超音速临空器核心技术

2

超音速临空器市场分析

3

超音速临空器企业案例

4

超音速临空器发展路线

5

临近空间的市场意义

空间技术跃升后商业潜力极大的新兴领域

人类技术发展趋势与人类认知世界的方式息息相关，在这个过程中，框架式的思考逻辑是资源有限的情况下，最大限度覆盖所有未知领域的方法。而随着技术的延伸和精细化进程，研究框架会越切越细，相邻的研究领域也会出现交叉，进而诞生更多的商业应用将这些领域的价值开发出来。所以在过去的空间技术领域，从自然环境中最容易将空间切分成两类，一类是大气层内环境，另一类就是空间环境。因为二者自然环境的极大差异，导致这两类空间技术发展出了截然不同的外在表现。但是一如所有行业发展趋势，空间技术也存在逐步精细化的过程，存在不同领域相互交叉的问题。而临近空间，就是在这样一个背景下，逐步凸显巨大商业潜力的板块。

对流层及平流层底部内主要依赖航空技术，太空环境主要依赖航天技术。对于前者来说，常规航空技术非常依赖相对浓厚的大气，但也正因为大气环境浓密，飞行阻力非常大，导致常规航空技术难以实现高超音速。对于太空环境来说，空气极端稀薄，空气阻力极低，所以卫星等航天器维持在轨状态消耗的燃料较少，可以保持航天器拥有较高寿命。但是对于夹在二者中间的临近空间来说，既无法应用传统航空技术，也无法应用传统航天技术。在过去高超音速飞行因为众多尚未完全攻关的关键技术，导致无法实现大规模商业应用，但现在相应的问题已经得到了极大改善，进而也使临近空间具备了更多的商业价值。

超音速临近空间飞行器市场需求

应用场景	探空火箭	试验平台	太空旅游	超音速运输
满足需求	中高层大气立体剖面探测和微重力科学实验最有效手段	真实情况下验证飞行器系统结构、气动特性、防热、制导控制等方面可靠性的唯一方案	乘坐空天往返飞行器进入100km高空，可更全面俯瞰地球，可短暂体验失重感	速度2马赫可实现5小时横跨太平洋；速度5马赫仅2小时可横跨太平洋
目标群体	高校及科研院所	政府、高校、科研院所	身体素质好的高净值人群	高收入人群及企业中高级管理层商旅需求

来源：艾瑞研究院自主绘制。

探空火箭：行业特点

探空火箭在大气环境探测和微重力试验方面具有显著优势

探空火箭是临近空间唯一的实地探测工具，是中高层大气立体剖面探测和微重力科学实验的有效手段，目前已广泛应用于空间天气预报、中高层大气研究、临近空间环境研究、微重力条件下的材料加工、高空生物学研究等诸多领域，具有其他飞行器不可替代的优点和作用。目前国内的主要客群是从事上述领域的高校、科研院所。

探空火箭主要应用场景和需求特点

大气环境探测

需求特点：探空火箭可用于近地空间的大气探测，更多地适用于临近空间探测、探测中高层大气数据以建立中高层大气模式为航天器发射和返回提供安全保障。

探空火箭价值：40km以下空域，浮空器可以长时间探测；300km以上可以使用卫星；但40km以上的临近空间只能依赖探空火箭。

实现方式：通过发射气象火箭，在100km以上高度弹出携带的球体，之后球体自由运动，通过动力学平衡方程反推出大气密度及大气风场。

微重力试验

需求特点：微重力环境作为一种重要的试验环境，可以进行理化研究试验、生物机体试验、流体燃烧试验、新型材料试验等，对新材料研究、太空环境仿真、载荷设备验证等具有重要作用。

探空火箭价值：卫星、飞船可以提供微重力环境，但成本高、机会少、风险大；气球与落塔提供微重力水平低，时间短。

实现方式：微重力火箭相较于普通空间探测用途火箭多了一套控制系统，对于筒体和载荷进行消旋和姿态稳定，以提供较好的微重力环境。

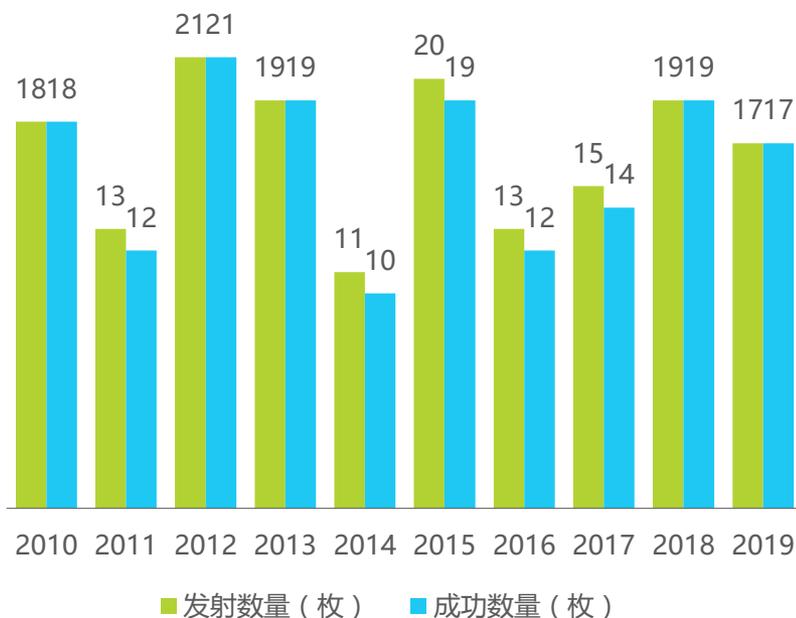
探空火箭：行业规模

地球科学探测是探空火箭主要任务类型

美国NASA探空火箭计划 (Sounding Rocket Program)已进展超40年，为美国的太空计划提供了重要的科学，技术和教育方面的贡献，并且是NASA最具成本效益的飞行计划之一。过去十年间NASA探空火箭计划累计发射166枚火箭，历年来发射数量虽然有波动，但总体保持稳定。从具体类型看，NASA探空火箭任务主要面向地球科学（大气环境参数探测、地球物理探测等），值得注意的是，NASA探空火箭也开始了重复使用的探索。如假设未来十年中国探空火箭市场可以达到NASA探空火箭计划相同，未来十年中国探空火箭市场规模将达到33.2亿元。

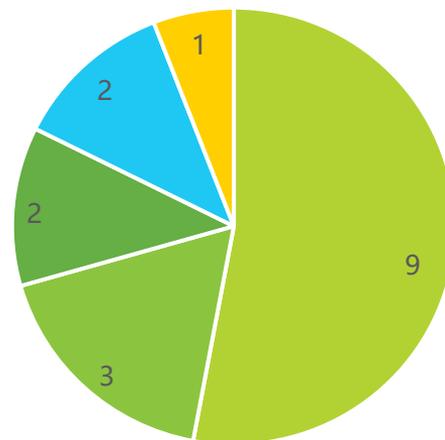
2010-2019年美国NASA探空火箭计划

发射情况



来源：《NASA Sounding Rockets Annual Report 2019》。

2019年NASA探空火箭计划任务类型



■ 地球科学 ■ 教育 ■ 太阳物理学 ■ 天体物理学 ■ 可回收试验

来源：《NASA Sounding Rockets Annual Report 2019》。

试验平台：行业特点

缺少低成本、高响应速度的飞行试验平台是行业痛点

NASA为确定某项技术成熟度提出了技术成熟度（TRL）的概念。若要进入实用化生产部署阶段，则需技术成熟度达到9级。超音速临空器及运载火箭各分系统若想达到TRL7级都需借助飞行试验平台完成真实环境验证。由于此前国内没有提供飞行试验的商业机构，因此绝大多数国内航天航空研制单位仅依赖地面试验和计算模拟，然而在进行高超音速飞行时，飞行器表面流动特性复杂，仅依赖这两种方式很难精准分析，模型参数存在较大误差。飞行试验是在真实情况下验证系统结构、气动特性、防热、制导控制等方面可靠性的唯一方案。传统的飞行试验平台需针对客户需求的飞行高速、速度以及试验载荷进行定制化设计，往往伴有研制周期长，成本高等特点，导致行业门槛高，客户难以实现诉求，目前商业试验平台通过产品化通用设计及商业运作模型，有效解决了研制周期与成本问题，降低了行业门槛，可以更好地为各类客户进行服务。

NASA技术成熟度判定标准

级别	等级评判标准	工程阶段
TRL1	研究并报告基本原理	纸面
TRL2	形成技术方案或应用方式	概念
TRL3	关键功能或特性得到试验验证	概念验证
TRL4	部件或试验板在实验室中得到验证	原理样品
TRL5	部件或试验板在模拟环境中得到验证	模型样品
TRL6	系统或分系统样机在模拟环境中得到验证	系统/分系统原型
TRL7	系统技术样机在典型真实环境中得到验证	系统原型
TRL8	完成真实系统研制，通过测试和演示验证	实际系统
TRL9	真实系统产品通过连续执行任务得到验证	实际系统

来源：《美国高超音速飞行器发展历程研究》，专家访谈。

飞行试验与风洞试验优劣势比较

	飞行试验	风洞试验
优势	<ul style="list-style-type: none">飞行试验是目前可行的试验手段中最接近真实飞行状态的试验手段	<ul style="list-style-type: none">风洞试验周期短
劣势	<ul style="list-style-type: none">周期较长，从定制研发到飞行试验至少半年	<ul style="list-style-type: none">风洞无法完全模拟真实飞行环境
适用情况	<ul style="list-style-type: none">适用于技术成熟度需达到TRL7级及以上的，或要求进行真实环境试验的单机或分系统	<ul style="list-style-type: none">适用于模拟单一环境因素影响的试验

试验平台：行业规模

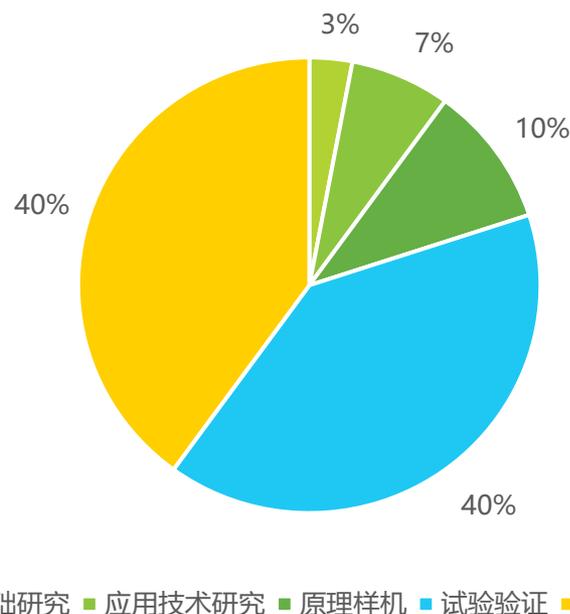
航空航天试验验证市场规模有望达到154.7亿元/年

自2009年，中国航空航天制造业新产品开发经费按照年16.9%复合增长率逐年增长，推算2018年中国航空航天器制造业新产品开发经费达到386.7亿元。在项目研制中，试验验证阶段经费占比高达40%。据此推断2018年航空航天制造业新产品开发中用于试验验证阶段经费达154.7亿元。此外，飞行试验平台也可为武器装备研制提供服务。

2009-2018年中国航空航天器制造业新产品开发经费



航天装备各研制阶段经费占比



注释：1.航空航天器制造业新产品研发经费包含包括新产品的研究、设计、模型研制、测试、试验等费用支出；2.自2011年起国家统计局不再公布航空航天器制造业新产品研发经费，后续数据根据2011-2018年高新技术新产品研发经费增速推算获得。
来源：国家统计局，SIPIR2020。

太空旅游：行业特点

太空旅游逐渐大众化，商业运作即将到来

随着旅游业的发展，游客需求也在不断变化，拥有太空旅游动机的人越来越多。由此衍生出多种太空旅游类型和商业模式。目前全球范围提供的四种太空旅游类型中，空间站的乘坐体验最好，活动空间大，体验失重感，可尝试太空行走，但价格偏高，很难大规模推广，另外长达10天的太空生活会相对枯燥；空天往返飞行器在价格和乘坐体验方面相对折中，更容易被大众接受，但唯一的缺点是乘坐时间过短。

太空旅游类型剖析

	乘坐体验	持续时间	失重感	乘坐价格
高空气球	利用一个大型氦气球带着乘客飞上高约30km的对流层鸟瞰壮观的地球曲线	2小时	无	Worldview 7.5万美元/座
空天往返飞行器	乘坐空天往返飞行器进入100km高空，可更全面俯瞰地球	几十分钟	有	维珍银河 25万美元/座
空间站旅游	进入空间站与专业航天员共同工作、生活，还可尝试太空行走	十天以上	有	AxiomSpace 0.55亿美元/座
绕月旅行	乘坐飞船进入狱中深空，并完成绕月飞行，同时欣赏太空、月球和地球	一周左右	有	太空探险公司 1亿美元/座

来源：太空旅游市场现状与发展分析。

太空旅游商业模式解析

太空旅游船票

随着火箭及飞船等载人航天器的商业化发展，太空旅游的门槛将逐渐降低，使得太空旅游距离普通民众越来越接近，通过向民众售卖太空旅游船票，将是太空旅游的最主要收入来源。

太空旅游增值服务

太空旅游乘坐的火箭或飞船，对于乘客的身体素质有较高要求，因此乘客需要经受专业的培训和训练，这一增值服务可根据客户需求提供不同程度及不同体验感的增值服务。



太空直播实时体验

太空旅游的过程中，将太空旅游全程进行直播也是较为可行的商业模式。目前B站与抖音均开设太空直播账号，截至2020年11月，B站视频博主地球频道拥有58万用户关注，抖音博主宇宙视角拥有180万用户关注，累计收获点赞850万。

广告宣传收费模式

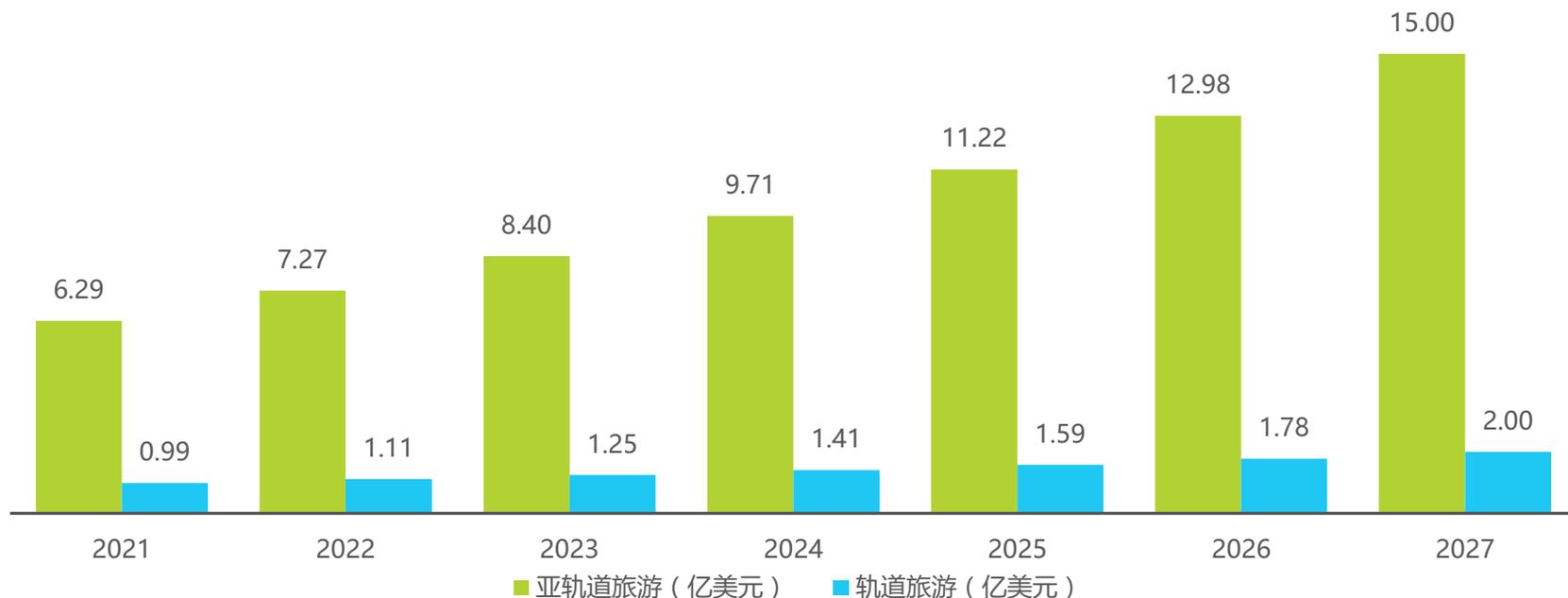
出售火箭和飞船冠名权目前已经司空见惯，在提供定制化太空旅游时，将火箭冠名权捆绑出售给客户，可以令客户拥有尊贵体验

太空旅游：行业规模

太空旅游有望在2027年达到17亿美元规模

据《商业太空旅游市场现状与发展分析》，60%的美国人、70%的日本人和43%的德国人都希望尝试太空旅游，目前仅维珍银河一家公司已拥有约900名意向用户（支付1000美元预定费用）。民众对太空旅游的积极性是很高，太空旅游产业隐藏着巨大商机。具体来说亚轨道旅游价格较低，更容易拓展市场。根据Report Linker预测，2027年全球亚轨道旅游市场将达到15亿美元。从定位客群角度分析，太空旅游项目经费高昂且对旅客身体素质要求很高。太空旅游市场需求者定位为高收入人群，且身体和心理素质佳的群体。

2021-2027年全球太空旅游市场规模



超音速客机：行业特点

制约超音速客机发展的因素已有相应解决方式

超音速客机服务于高端商务人士服务，为他们提供豪华旅行和快速旅行方案。协和号因飞机单价过高、运营效率低、噪音巨大、航程限制、政策限制等原因于2003年退役。此后超音速客机发展陷入停滞。近年来，湾流、Boom Technology、波音纷纷公布各自的超音速客机方案。其中波音公布正在研制的超音速客机方案，最高理论速度达到5马赫，能在三万米的高空飞行，飞机的容量介于公务机与中型客机之间。

超音速客机发展瓶颈及解决方案

协和号 退役原因

单价过高

- 协和号研制费用高达32亿美元；需要大量生产来摊薄研发成本，然而仅生产了20架，实际交付14架

运营效率低

- 协和号票价相较于头等舱票价仍提高10%，导致航班上座率低。然而高超音速飞行导致飞机耗油率居高不下

噪音巨大

- 起飞噪音119.5分贝；进场噪音116.7分贝；侧向噪音112.2分贝；噪音巨大，导致多国机场拒绝降落，大多热门航线无法飞行

航程限制

- 最大油量航程为7000多公里，最大载重航程不足5000公里；因此横跨太平洋的热门航线复发飞行

政策限制

- 由于飞机突破音障时会产生极大的爆炸声。导致美国等国家规定无法在陆地上空进行超音速飞行，而低速性能不佳，会导致耗油率增加

解决方式

小型高超音速客机

- B787市场表现优于A380原因是市场定位：B787容量适中，适用于点对点远程运输；A380容量大，非枢纽城市运输上座率较低
- 高超音速客机票价高，面向体量小的净净值群体，解决上座率低和交付数量小的问题，市场需要**小容量点对点远程高超音速客机**

变循环发动机

- 兼顾起降、加速、亚音速、超音速各种飞行状态下的性能，届时耗油率、噪声、音爆问题均会得到改善

安静长钉

- 飞机头部安装“安静长钉”，可以有效抑制音爆

政策放开

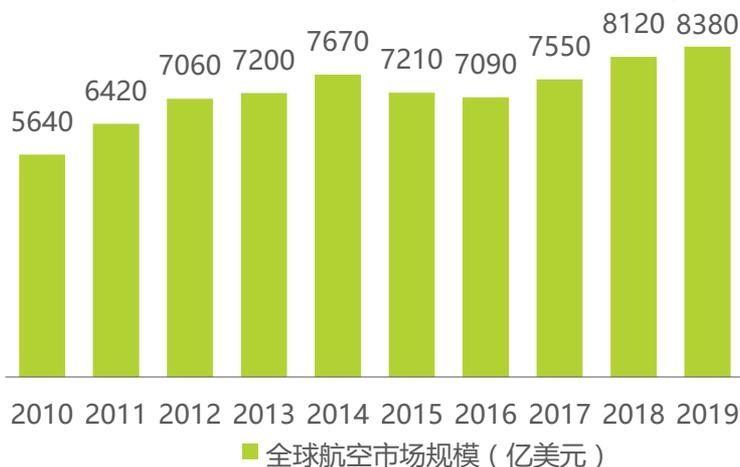
- 美国联邦航空管理局在2020年4月公布新的噪声适航标准，规定超音速客机起降的噪声阈值
- 目前美国大陆的上空仍不允许超音速飞行

超音速客机：行业规模

超音速客机将与传统客机长期并存，潜在全球市场规模918亿美元

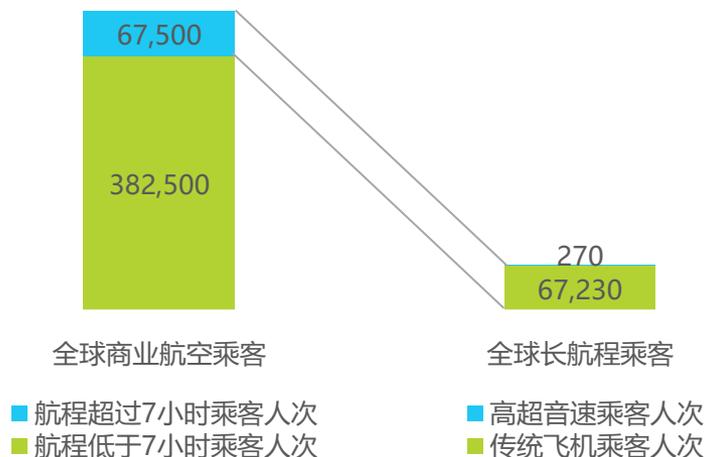
从2010年到2019年，全球商业航空市场规模由5640亿美元，上升到8380亿美元，如果没有疫情影响，全球航空市场基本维持在8000亿美元以上的规模。2018年全球商业航空运输乘客45亿人次，根据ARK投资管理公司测算其中15%航班航程超过7小时（约6.75亿人），我们认为这部分用户是超音速客机有望争取的对象。另外根据美国交通部数据，2018年美国私人航班占据美国民航的0.4%。我们假设未来上述6.75亿人中0.04%在跨洲际旅行中会选择超音速客机，即超音速客机用户规模将达到270万人。纽约飞往日本私人飞机票价约1.8万美元，相较同航段头等舱溢价1.6万元，而仅缩短2小时飞行时间且提供更为舒适环境；未来超音速客机在提供舒适乘机环境的同时，将飞行时间缩短至原本的1/6，我们认为溢价未来超音速客机票价定为3.4万美元依然是有竞争力的。综上，我们认为未来全球超音速客机投入商业营运后市场规模将达到918亿美元。

2010-2019年全球商业航空市场规模



来源：ICAO，艾瑞自主绘制。

超音速客机潜在用户规模



来源：ARK Investment Management，Department of Transportation，艾瑞自主绘制。

超音速临空器行业概述

1

超音速临空器核心技术

2

超音速临空器市场分析

3

超音速临空器企业案例

4

超音速临空器发展路线

5

典型企业：维珍银河

维珍银河以超音速技术为核心进行多方向布局

维珍银河背靠维珍集团，主营业务是向乘客提供亚轨道太空旅行服务及向卫星运营方提供低轨道发射服务（目前仍在试验验证阶段），与此同时利用超音速研发工程经验向客户提供从研发、生产、地面试验到飞行试验全流程解决方案，此外维珍银河贡献试飞阶段载荷空间向各国家科研院所提供临近空间科学实验。未来将开发超音速民航客机，提供点对点洲际运输服务。截至2021年7月，太空船二号已进行多次试飞，已完成美国联邦航空局（FAA）规定的全部适航认证，进一步验证了其飞行安全性。这也标志着全球范围内首个面向商业用户的航天运载器即将开展运营。

维珍银河业务布局

维珍银河优势梳理



工程和制造优势

具备**10**年以上的开发和设计经验



先发优势

世界上唯一成功研制全自动驾驶3马赫以上的超音速载人飞行器



以客户为中心的设计优势

维珍银河重新定义了机上乘坐体验



丰富的数据

通过多次亚轨道飞行试验搜集了丰富的临近空间环境参数数据



互补能力

与波音、美国宇航局和罗罗公司合作，增强了维珍银河多方面的能力。

来源：维珍银河官网，由艾瑞研究院自主研究绘制。

典型企业：维珍银河

维珍银河计划2021年完成商业化飞行

维珍银河于2021年5月从美国太空港实现首次飞行，2021年7月完成满载任务(full crew)飞行，其董事长理查德·布兰森也在成员中。维珍银河发起“一小步”(One small step)计划，参与用户需要提前缴纳可退回的1000美金，锁定太空旅行优先权，截至2020年底已有900名用户参与报名。

太空船二号介绍

飞行方案：

“白骑士二号”载机腹部挂载“太空船二号”在地面跑道上水平起飞，达到约15km的高度后释放太空船，后者随后开启自身的火箭发动机进行爬升，而“白骑士”载机则返回机场降落。“太空船”发动机燃尽后关机，经历约5 min的失重环境，上升滑行至约110km的轨迹最高点，太空船将尾翼由水平状态调整为竖直状态，并开始再入返回飞行。降至21.5km后，太空船的尾翼复位为水平状态，开始螺旋飞行以调整飞行器的能量状态，达到无动力进场着陆入口条件后，开始最终的无动力进场着陆滑翔飞行，直至在预定的机场跑道上水平着陆。

太空船二号主要参数

驾驶员数量	2	载客数量	6
飞行速度	3马赫	飞行时间	90分钟
发动类型	固液混合发动机	燃料类型	固体氧化剂，液体推进剂

白骑士二号



太空船二号



来源：维珍银河官网，由艾瑞研究院自主研究绘制。

维珍银河发展规划

飞行测试规划

Unity 23

- 第五次飞行试验
- 微重力研究及宇航员训练演示试验
- 开启商业太空旅游服务

Unity 24

- 第三次满载飞行

Unity 25

- 面向私人提供商业宇航员训练服务

商业规划

- 提供亚轨道太空旅游服务(单人, 多人, 包机), 45万美元起。
- 微重力研究及专业宇航员训练, 折合每座位60万美圆
- 2021年理查德·布兰森爵士乘坐体验后, 已重新开始售票
- 2020年12月31日“一小步”计划下线, 该计划已锁定近900名参与者

典型企业：凌空天行

凌空天行深耕科研领域飞行验证市场，蓄力民用市场

凌空天行成立于2018年10月，核心团队均源自国内顶尖高超音速临近空间飞行器研发单位。凌空天行瞄准我国超音速飞行试验这一空白的市场，致力于向我国航空航天领域相关企事业单位、科研院所、高等院校提供从方案论证、试验测试、总装集成到飞行验证全流程的定制化解决方案等多方面服务。为满足客户多样化飞行验证需求，凌空天行向客户提供低成本、高响应速度的飞行试验平台。与此同时，凌空天行利用超音速领域积累的研发经验，计划开展超音速载人临空器的研发，进军太空旅游和超音速运输这两块蓝海市场。

凌空天行公司发展历程

2018年	2019年	2020年	2021年
凌空天行公司成立 10月	第二次天行飞行试验 4月 12月	资质齐全 凌空一号全系统地面试验 9月	完成3亿A轮融资 8月
	首次天行I飞行试验 12月	完成Pre-A轮融资 5月 11月	
		凌空二号抽检试车	

首次飞行试验

- 针对客户双乘波一体化布局开展真实飞行环境的动力学测试
- 验证舱内无线通信系统和临近空间高能粒子探测系统

二次飞行试验

- 分别对先进高速发动机、高速层流翼型进行了验证
- 建立非视距状态下不依赖中继手段的地-空通信链路

客户
试验
需求

试验
特点

- 为降低客户使用成本，两次试验均对伞降回收方式的技术方案进行验证，此外对低成本电气系统等关键技术也进行了验证

来源：凌空天行官网、公众号，由艾瑞研究院自主研究绘制。

天行系列火箭研制规划

近期规划

2019-2022年通过大规模技术验证平台飞行对后续各类关键技术进行验证

中期规划

2023年实现亚轨道太空旅游样机的首飞
2025年进行首次亚轨道太空旅游飞行器载人试飞

远期规划

2028年实现全球高超音速飞行器首飞
2030年完成全尺寸全球高超音速飞行器飞行

技术验证
平台

亚轨道太空
旅游飞行器

全球高超音
速飞行器

超音速临空器行业概述

1

超音速临空器核心技术

2

超音速临空器市场分析

3

超音速临空器企业案例

4

超音速临空器发展路线

5

超音速临空器发展路线建议

以飞行试验为切入点，进而拓展太空旅游和超音速客机领域 对于国内初创企业更为稳妥

科学试验市场相对比较稳定，民营企业进入需要依靠价格与技术优势扩展市场；飞行试验平台在国内属于增量蓝海市场且作为超音速基础应用可积累超音速关键技术，成为目前国内超音速临空器企业的主攻方向；太空旅游以载人安全作为前提，需加入逃逸救生系统，对企业的研发能力有了新的要求；超音速客机作为超音速临空器中难度最高的应用，除了对飞行安全性有极大的要求外，对于经济性和环境保护层面的要求同样极高，对于初创企业技术难度高，因此企业需要在超音速临空器领域有着较深的积累后方能尝试进入。

超音速临空器发展路线建议

探空火箭

目前国内对科学试验的需求较稳定，但探空火箭市场由国家队掌控，价格相对较高，未来民营企业有望利用价格优势进行替代。

试验平台

国内商业飞行试验供应商的出现，将改变传统验证测试方式，解决航空航天领域技术成果向工程化转化周期长、费用高的难题。



太空旅游

随着中国高净值人群增加以及人们对于精神生活追求，太空旅游有着广阔的市场前景。此外随着国外的太空旅游逐渐成熟，民众对于太空旅游的安全性也将被认可。

超音速客机

超音速客机为高净值人群及商务人士节省宝贵时间；若达到5Ma以上的飞行速度，将极大改变现有的洲际飞行体验。

艾瑞新经济产业研究解决方案



行业咨询

- 市场进入 为企业提供市场进入机会扫描，可行性分析及路径规划
- 竞争策略 为企业提供竞争策略制定，帮助企业构建长期竞争壁垒



投资研究

- IPO行业顾问 为企业提供上市招股书编撰及相关工作流程中的行业顾问服务
- 募 投 为企业提供融资、上市中的募投报告撰写及咨询服务
- 商业尽职调查 为投资机构提供拟投标的所在行业的基本面研究、标的项目的机会收益风险等方面的深度调查
- 投后战略咨询 为投资机构提供投后项目的跟踪评估，包括盈利能力、风险情况、行业竞对表现、未来战略等方向。协助投资机构为投后项目公司的长期经营增长提供咨询服务

关于艾瑞



艾瑞咨询是中国新经济与产业数字化洞察研究咨询服务领域的领导品牌，为客户提供专业的行业分析、数据洞察、市场研究、战略咨询及数字化解决方案，助力客户提升认知水平、盈利能力和综合竞争力。

自2002年成立至今，累计发布超过3000份行业研究报告，在互联网、新经济领域的研究覆盖能力处于行业领先水平。

如今，艾瑞咨询一直致力于通过科技与数据手段，并结合外部数据、客户反馈数据、内部运营数据等全域数据的收集与分析，提升客户的商业决策效率。并通过系统的数字产业、产业数据化研究及全面的供应商选择，帮助客户制定数字化战略以及落地数字化解决方案，提升客户运营效率。

未来，艾瑞咨询将持续深耕商业决策服务领域，致力于成为解决商业决策问题的顶级服务机构。

联系我们 Contact Us

 400 - 026 - 2099

 ask@iresearch.com.cn



企 业 微 信



微 信 公 众 号

法律声明

版权声明

本报告为艾瑞咨询制作，其版权归属艾瑞咨询，没有经过艾瑞咨询的书面许可，任何组织和个人不得以任何形式复制、传播或输出中华人民共和国境外。任何未经授权使用本报告的相关商业行为都将违反《中华人民共和国著作权法》和其他法律法规以及有关国际公约的规定。

免责条款

本报告中行业数据及相关市场预测主要为公司研究员采用桌面研究、行业访谈、市场调查及其他研究方法，部分文字和数据采集于公开信息，并且结合艾瑞监测产品数据，通过艾瑞统计预测模型估算获得；企业数据主要为访谈获得，艾瑞咨询对该等信息的准确性、完整性或可靠性作尽最大努力的追求，但不作任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的观点均不构成任何建议。

本报告中发布的调研数据采用样本调研方法，其数据结果受到样本的影响。由于调研方法及样本的限制，调查资料收集范围的限制，该数据仅代表调研时间和人群的基本状况，仅服务于当前的调研目的，为市场和客户提供基本参考。受研究方法和数据获取资源的限制，本报告只提供给用户作为市场参考资料，本公司对该报告的数据和观点不承担法律责任。

为商业决策赋能

EMPOWER BUSINESS DECISIONS



艾 瑞 咨 询