

文章编号: 2097-1974(2025)03-0062-07

DOI: 10.7654/j.issn.2097-1974.20250309

# 中国首座商业液体运载火箭发射工位论证建设

朱雄峰, 刘 鹰, 崔展鹏, 王一杉, 雍子豪  
(北京特种工程设计研究院, 北京, 100028)

**摘要:** 贯彻中国商业航天发展战略, 分析了国内外商业航天发展态势及中国商业航天发展对发射工位的建设需求, 提出在酒泉卫星发射中心建设商业液氧甲烷发射工位的设想, 涵盖商业液氧甲烷运载火箭动力系统试车、测试和发射等。提出商业液氧甲烷发射工位的总体设计方案, 包括运载火箭的配套、总体技术指标、基本测发模式、发射工位选址、发射工位定点、发射综合安全和主要建设内容等。论证表明商业液氧甲烷发射工位总体方案符合任务实际、方案规模适度, 可满足中国目前计划研发的商业液氧甲烷运载火箭的发射任务要求, 可为同类商业发射工位的建设提供借鉴和参考。

**关键词:** 运载火箭; 发射场; 发射工位; 卫星; 液氧甲烷

中图分类号: V11

文献标识码: A

## Demonstration and Construction of the First Commercial Liquid Launch Site in China

ZHU Xiong-feng, LIU Ying, CUI Zhan-peng, WANG Yi-shan, YONG Zi-hao  
(Beijing Special Engineering Design and Research Institute, Beijing, 100028)

**Abstract:** Implementing the commercial space development strategy of China, the commercial space development posture over the world is analyzed. Meanwhile, the construction demand of the launch site of the commercial space is analyzed. A conception building a LOX-methane launch site in Jiuquan Satellite Launch Center is proposed. The launch site can meet the demand of dynamical system test run, test and launch of LOX-methane launch vehicle. A conceptual design program of the LOX-methane launch site is brought forward. The program includes assorted launch vehicles, general technical indexes, basic test-launch mode, site selection, general safety, and major constructions. The demonstration shows, the conceptual design program can meet the need of launch mission, and the construction scale is moderate. The conceptual design program can fulfill the demand of the programed LOX-methane launch vehicles in China. Using the launch site, a ZQ-2 launch vehicle is flying to the space in December 2023. The above demonstration can provide referential experience for the construction of analogues commercial LOX-methane launch site in China.

**Keywords:** launch vehicle; launch center; launch site; satellite; LOX-methane

### 0 引言

近年来, 世界商业航天繁荣发展, 其中商业航天发射是商业航天的重要组成部分。美国1984年制定了《商业航天发射法》, 从国家层面推动商业航天发射, 特别是在航天飞机退役后, 美国更是急迫推进商业航天发射发展壮大, 大力强化商业航天发射力量作为国家进入空间力量体系的重要组成。美国通过法律引导、政策激励、技术转移、项目支持、资源共享等多种措施大力推动商业航天发射产业, 实现航天竞争力提升, 同时实现发射成本降低、技术创新步伐加快、产业结构优化等目标<sup>[1-2]</sup>。以SpaceX为代表的商业航天发射公司的成功也使美国成功实现了进入空间

能力的多元化、体系化、独立化, 基本摆脱了对俄罗斯进出空间的依赖。中国自1985年起, 陆续开展了对外发射服务、小卫星搭载服务、商业卫星发射服务等商业航天发射活动<sup>[3-5]</sup>。在十八届五中全会后, 中国商业航天发射在国家商业航天发展战略和相关产业政策的激励下, 显现出快速发展的迹象, 但总体还处于国家投资、企业研制的传统计划模式下, 距离实现航天产业化和商业化还相差甚远。国家对商业航天发展政策、管理机制、合作体系、商业模式等方面的研究仍处于探索阶段, 发展潜能尚未完全释放出来<sup>[6-8]</sup>。

2019年初, 中国商业运载火箭公司向国家提出在国家发射场建设商业液氧甲烷发射工位需求。为此,

成立了商业液氧甲烷发射工位论证组。此后一年多，先后开展了商业航天发射现状调研、液氧甲烷火箭需求对接、分系统技术协调、总体技术方案编写等工作。最后立足中国商业航天发射体系发展规划，提出在酒泉卫星发射中心建设商业液氧甲烷发射工位的设想。本文在上述背景和需求下提出了商业液氧甲烷发射工位总体设计方案，同时根据该方案开展工程建设。该工位是中国首座商业发射工位，于2022年前后完成建设，有力支撑了2022年12月首型液氧甲烷运载火箭朱雀二号的发射（首次发射未能成功入轨），并支撑了2023年12月同型火箭的成功发射入轨。

## 1 商业航天发展形势

### 1.1 商业卫星发射需求

近年来，中国商业发射载荷主要是商业卫星。其

中，一类是国际商业发射，包括整星出口和国外卫星商业发射，近5年的国际商业发射任务有十余次，主要由CZ-2系列和CZ-3A系列火箭执行；另一类是中国商业卫星发射，包括吉林一号、珠海一号等商业小卫星，主要由KZ-1A、CZ-11系列等运载火箭执行。从商业航天发展趋势看，中国未来几年的商业发射载荷主要呈现小型化、星座化，卫星质量大多不超过500 kg等特点，应用领域主要集中在遥感与通信服务领域<sup>[9-10]</sup>。据调研，中国目前有20余家科研院所开展商业小卫星星座研发，计划相对明确的商业小卫星星座见表1。规划中的小卫星总数达数千余颗，每年商业小卫星的发射需求尤为强烈，这对商业运载火箭和商业航天发射工位提出了迫切的需求。

表1 商业星座发射需求

Tab.1 Typical commercial satellite constellation

序号	单位名称	星座名称	卫星种类	卫星数量
1	银河航天科技有限公司	银河星座	通信	650
2	上海连尚网络科技有限公司	蜂群星座	通信	272
3	成都国星宇航科技有限公司	星时代AI星座	通信	192
4	长光卫星技术有限公司	吉林一号	遥感	138
5	华讯方舟科技有限公司/零重空间	灵鹊星座	遥感	132
6	北京未来导航科技有限公司	向日葵星座	导航增强	132
7	北京九天微星科技发展有限公司	瓢虫星座	通信	72
8	北京凯盾寰宇	—	通信服务	66
9	浙江天地经纬科技有限公司	—	导航、通信、遥感	60+
10	北京国电高科科技有限公司	天启星座	通信	38
11	珠海欧比特宇航科技股份有限公司	珠海一号	遥感	34
12	北京信威科技集团有限公司	—	通信	32+
13	上海欧科微航天科技有限公司	翔云星座	通信	28
14	北京四维商遥航天科技有限公司	—	遥感	24+
15	北京航天世景信息技术有限公司	高景星座	遥感	24
16	天仪研究院	天格星座	科学实验	24
17	北京和德宇航科技有限公司	天行者星座	遥感+AIS	24
18	深圳东方红海特卫星公司	—	遥感	20
19	珠海欧比特宇航科技股份有限公司	嘉定一号	遥感、通信	7

### 1.2 商业火箭发射需求

近年来，在政策利好、资本青睐、各地政府大力支持的情况下，中国新兴航天发射企业井喷式出现并快速发展。中国民营商业火箭创业呈现出两个明显阶段，第一阶段，以北京零壹空间科技集团有限公司、蓝箭航空间科技股份有限公司等为代表的第一批公司开始出现，拉开了中国民营商业火箭的序幕，创始人多为金融背景，规划产品为小型固体火箭，通过采购固体发动机，自研完成总装产品集成。随着中国火

箭发动机政策调整，商业公司转为自研火箭发动机和火箭关键部件产品。第二阶段，2017年前后，随着商业航天政策的进一步推进，出现了第二批商业火箭公司，如北京星际荣耀空间科技有限公司、北京星途探索科技有限公司、北京九州云箭科技有限公司等，创始人多为航天企业技术背景出身，产品规划、商业路径更加多样，基本都涉及固体或者液体火箭发动机的研发。2018年蓝箭航空间科技股份有限公司执行了中国首枚真正意义的商业入轨发射（朱雀

一号,未能完全入轨),标志着2018年成为中国商业航天发射元年。近年来中国商业航天发射虽然取得了快速的发展,但是由于起步较晚,目前仍处在探

索阶段,与国际主流商业航天发射企业的的能力尚有较大差距。表2所列是2019年工位论证之初,中国典型商业液体运载火箭<sup>[9-10]</sup>。

表2 典型商业液体火箭(2019年)

Tab.2 Typical commercial liquid-propellant launch vehicle (2019)

火箭型号	结构	长度/m	最大直径/m	起飞质量/t	LEO/t	SSO/t
朱雀二号	两级液体	49.5	3.35	216	4	—
双曲线二号	两级液体	28.3	3.35	120	2	—
新干线一号	两级液体	23.8	1.8	42	—	0.2
智神星一号	两级液体	42	3.35	220	4	2
星云一号	两级液体	—	2.25	70	—	0.5

## 2 商业发射工位建设需求

随着中国低温推进剂技术的发展,液氧甲烷动力逐渐成为研究热点。2019年,中国选择液氧甲烷技术路线的企业主要有蓝箭航天空间科技股份有限公司、北京星际荣耀空间科技有限公司和北京九州云箭科技有限公司,其中前两家公司具有整箭研制计划,后一家公司则侧重液氧甲烷发动机系统研制。由于没有配套的发射工位,2019年初,蓝箭航天空间科技股份有限公司和北京星际荣耀空间科技有限公司向国家提出建设商业液氧甲烷发射工位的需求。因此,在本阶段重点满足两家公司的运载火箭需求,同时兼顾满足未来商业液氧甲烷运载火箭发射的需求。蓝箭航天空间科技股份有限公司提出的液氧甲烷运载火箭朱雀二号火箭(ZQ-2)为中型两级液体运载火箭,箭体直径3.35 m,一级采用4台地面推力为656.6 kN的液氧甲烷发动机,二级采用1台主机+1台游机的方式,二级主机为与一级单台相同的液氧甲烷发动机,游机推力为78.4 kN。全箭总长为49.2 m,起飞质量

216 t,起飞推力2 626 kN,整流罩直径为3.35 m。ZQ-2火箭的型谱包含了ZQ-2、ZQ-2A、ZQ-2B、ZQ-2C四型火箭。由于后续构型当时尚在论证中,对发射工位的需求尚不明确,此次液氧甲烷发射工位论证主要针对ZQ-2基本构型,火箭构型如图1a所示。北京星际荣耀空间科技有限公司提出的双曲线二号运载火箭(SQX-2),为小型两级液体运载火箭,一子级直径为3.35 m,二子级直径为2.25 m,一级采用9台地面推力为98 kN的液氧甲烷发动机,二级采用1台与一级单台相同的液氧甲烷发动机,全箭总长为28 m,起飞质量95 t,起飞推力约980 kN,一子级具有垂直降落回收功能,可重复使用。双曲线火箭后续型谱主要包括SQX-2和SQX-3系列,SQX-2系列火箭后续通过捆绑助推形成其他构型;SQX-3系列火箭为中、大型运载火箭。由于后续构型当时尚在论证中,对发射工位的需求尚不明确,此次液氧甲烷发射工位论证主要针对SQX-2基本构型,火箭构型如图1b所示。

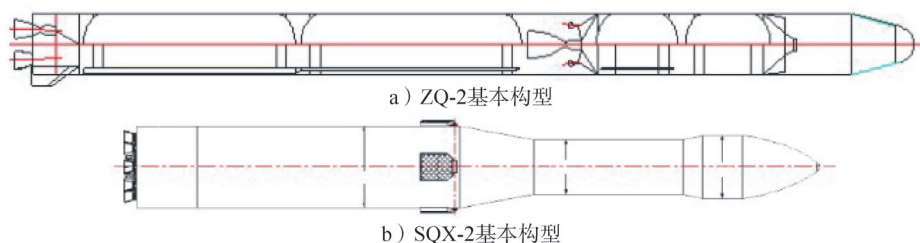


图1 两型运载火箭构型

Fig.1 The configuration of two launch vehicles

ZQ-2运载火箭和SQX-2运载火箭提出的发射工位总体需求如表3所示。从表3可以看出,两型火箭都采用两级光杆构型、测发模式相似。ZQ-2运载火箭液氧加注总量和甲烷加注总量约为SQX-2运载火箭的2倍,ZQ-2运载火箭总长约为SQX-2运载火箭总长1.5倍,ZQ-2为中型运载火箭、SQX-2为小型运载火箭。按照

集约高效、兼顾共用、降低投资的原则,在当前商业航天发射发展条件下,拟建设1个中型商业液氧甲烷发射工位,同时满足近期商业中型液氧甲烷运载火箭和小型液氧甲烷运载火箭发射需求,是较为切实可行的。综合ZQ-2和SQX-2两型运载火箭提出的发射工位需求,初步看ZQ-2运载火箭的需求规模为SQX-2运载火

箭的2倍，按照ZQ-2运载火箭对发射工位的需求进行最大包络设计，可以满足两型火箭的需求，同时可以兼顾未来中小型商业液氧甲烷运载火箭的发射需求。

表3 两型运载火箭对发射工位的总体需求

Tab.3 The conceptual demands for the launch site of two launch vehicles

运载火箭	ZQ-2	SQX-2
构型	2级光杆构型	2级光杆构型
测发模式	三平	两平一垂
火箭总长/m	49.2	28
液氧加注总量/m <sup>3</sup>	140	60
甲烷加注总量/m <sup>3</sup>	140	60

表4 商业发射工位的总体技术指标

Tab.4 The conceptual parameters of the commercial launch site

能力项	指标项	指标要求
任务能力	测发周期	10天,技术区7.5天、转运0.5天、发射区2.5天
	年综合发射能力	12发
	最短发射间隔	20天
射向及发射轨道	射向	90°~196°
	发射轨道	LEO、SSO
测发模式	三平测发模式	通用三平模式,兼顾不完全三平(两平一垂)
	转运方式	整体水平公路转运、自动对接定位
箭地连接	一级箭地连接	发射台尾部连接,自动对接、起飞脱拔
	二级箭地连接	转运发射车脐带连接、零秒脱落
	转运过程连接	与水平转运车保持箭地连接
任务指挥	任务指挥	后端指挥控制显示、测发组织指挥、飞行控制合一
技术区总装测试	运载火箭测试	转载准备、总装测试、星箭对接合一,2发同时测试
	航天器总装测试	转载准备、总装测试、加注扣罩合一,2星并行测试,串行加注
发射区测试发射	地面支持能力	取消固定勤务塔、采用固定发射台、适配一级3.35 m以下直径光杆构型
	加注能力	供液至转运发射车、低温加注开始前端无人值守
	供气能力	供气至转运发射车、标准质量氮气、氦气
	瞄准方式	箭上自瞄、全方位发射
发射测控	遥测体制	PCM-FM体制、S频段
	测量体制	基于BD和GPS的GNSS,通过遥测信道下传,C频段脉冲雷达测量
	安控制体制	箭上自毁为主,地面遥控炸毁为辅,多音调频编码体制
航区落区	残骸定位	增加北斗定位模块
	可控坠落	优化飞行控制策略,缩小残骸落区范围,推进残骸可控坠落

a) 任务指挥方面：组织指挥扁平化、指挥信息系统智能化、指挥场所归一化。

b) 测试发射方面：实现无塔式发射，全低温火箭“三平”测发模式，统一测发控技术架构，实现远程、无线和快速测试；火箭、卫星总装对接实现自动化；箭上自瞄、全方位发射；加注开始前端无人值守。

c) 箭地连接方面：基础级尾部连接，自动对接、起飞脱拔；上面级脐带连接、零秒脱落；规范统一箭地气、液、电技术接口。

d) 发射测控方面：遥测PCM-FM体制、S频段；

### 3 商业发射工位总体方案

#### 3.1 总体技术指标

围绕建设国际一流商业航天发射工位的总目标，大力深化商业航天发射体系创新、模式创新、技术创新，打造一个国际一流、现代化、智能化、无人化的商业航天发射工位，年综合发射能力不低于12发，满足各类LEO、SSO轨道商业航天发射任务的要求。综合考虑商业运载火箭任务和先进测试发射技术发展，提出液氧甲烷发射工位总体技术指标，见表4。

测量基于BD和GPS的GNSS，通过遥测信道下传，C频段脉冲雷达测量；安全以箭上自毁为主，地面遥控炸毁为辅，多音调频编码体制。

e) 航区落区方面：残骸增加北斗定位；优化飞行策略，缩小落区范围；应用降落伞，栅格舵等方式，推进残骸可控坠落。

#### 3.2 基本测发模式

从中国各发射工位的建设经验可知，“一平两垂”测发模式、“三垂”测发模式、“三平”模式都有成熟应用<sup>[11-12]</sup>。“一平两垂”测发模式是指水平运输、垂直组装、垂直测试，西昌卫星发射中心CZ-3A系列火

箭发射工位采用该测发模式,该模式的主要特点是发射区建设固定勤务塔,发射区占位时间长等;“三垂”测发模式是指垂直总装、垂直测试、垂直转运,文昌航天发射场CZ-5火箭发射工位采用该测发模式,该模式的特点是发射区建设高大勤务塔,投资规模较大;“三平”测发模式是指水平组装、水平测试、水平整体转运,CZ-6运载火箭发射工位采用该模式,3种测发模式的综合比较见表5。从以上分析可知,“一平两垂”测发模式和“三垂”测发模式均需在发射区建设固定勤务塔,固定勤务塔的塔体高度、吊重、回转平台开口直径、回转平台分级等均限制了运载火

箭型号的拓展。一型固定勤务塔往往对应一型或几型运载火箭,该特点不适合当前需兼顾中型运载火箭ZQ-2和小型运载火箭SQX-2,同时还需兼顾未来可能的商业液氧甲烷火箭的要求。另外“一平两垂”测发模式和“三垂”测发模式发射区占位时间长,不适合快速、密集发射为主要特征的商业航天发射。因此,商业液氧甲烷发射工位优选“三平”测发模式,不同的运载火箭只需更换水平转运起竖车即可,如图2所示,一方面实现一个工位兼顾多型运载火箭,另一方面简化了不同企业之间的分工界面,减少技术状态更改。

表5 各种测发模式的综合比较

Tab.5 The confrontation of several test and launch models

测发模式	测发模式要点	主要优点	主要缺点
一平两垂	水平运输 垂直组装 垂直测试	1.对产品结构强度要求低,限制少; 2.发射场建设投资少	发射工位占用时间长,发射能力低
三垂	垂直总装 垂直测试 垂直转运	1.测试方案可靠,产品状态一致; 2.总装测试环境好,便于质量控制; 3.发射占位时间短,发射频率高	1.需建设垂直厂房和活动发射台,设施、设备复杂,技术难度高; 2.建设规模较大,投资相对较高
三平	水平总装 水平测试 水平转运	1.技术区和发射区状态变化少,可靠性高; 2.总装测试环境好,便于质量控制; 3.发射占位时间短,发射频率高; 4.转场运输条件要求不高	1.对有效载荷的适应性差; 2.产品受力较复杂,设计难度较大; 3.运输车技术较复杂,投资较高

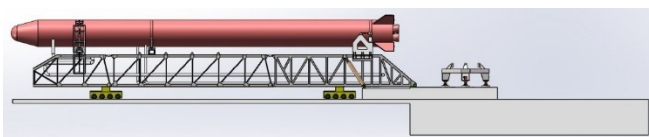


图2 水平转运起竖车示意

Fig.2 The sketch of the horizontal transport and erecting vehicle

### 3.3 基本测发流程

基于“三平”测发模式的基本测发流程为:

a) 产品进场运输。火箭芯级通过公路运输至发射场,航天器通过公路或航空运输进场。

b) 航天器总装、测试与加注、扣罩。航天器在厂房进行总装、测试、加注和整流罩装配。

c) 火箭总装测试。芯一、二级在火箭水平总装测试厂房进行卸车、转载等,后芯一、二级连接,形成组合体,水平组合状态完成分系统测试、系统匹配测试,完成火箭总检查。

d) 星罩组合体转运和对接。航天器星罩组合体垂直转运至火箭总装测试厂房,星罩组合体垂直转水平,与火箭组合体水平对接形成星箭组合体,完成星箭联合总检查,星箭组合体吊装至水平运输发射车。

e) 星箭转场。星箭组合体由水平运输发射车转

运至发射工位,整体起竖与发射台对接、调平。

f) 加注与点火发射。全系统气检、加注信号联试,甲烷加注、液氧加注,射前检查、点火发射、火箭起飞<sup>[13-14]</sup>。

### 3.4 发射工位选址

按照商业航天发射体系发展规划,液氧甲烷发射工位可以依托酒泉卫星发射中心进行建设。其具有地广人稀、安全性好、地质条件优越、技术基础好等优势条件,正在打造航天技术产、学、研、发的航天发射新型技术创新区,功能布局上规划了商业火箭发射区、新型运载火箭发射区等。具体基于以下考虑:a) 根据传统任务分工,酒泉卫星发射中心承担极轨、太阳同步轨道发射任务,还能够承担大倾角低轨航天器发射任务,射向范围较宽,对于未来各类商业发射任务有较好适应性。b) 若考虑重新择址完全新建,征地移民计划风险较大;而依托现有发射场建设,基础设施条件好,利于快速形成任务能力。c) 建设用地方面,目前其他发射场场区内建设用地已基本饱和,建设新工位还需要重新征地,导致建设成本增加,而酒泉卫星发射中心还拥有大量的建设用地储备。d) 建设周期上,由于使用需求较为迫切,如果重新征地

开展建设，则建设周期会大大增加，建设计划将无法满足使用需要。e) 从航落区安全性考虑，通过弹道初步分析和图上作业，酒泉卫星发射中心典型射向的航落区安全性好（SSO任务一子级、整流罩落区均位于青藏高原人烟稀少地区），较其他发射场更优；同时还可兼顾可重复使用一子级回收（如SQX-2运载火箭一子级回收区为青海省茶卡盐湖以南），安全性好。

### 3.5 发射工位定点

商业液氧甲烷发射工位定点需遵循以下原则：

a) 工位定点安全要求。新建工位的首区安全管道（以工位定点为圆心，以任务射向（90°~196°）为基准，半径5 km、夹角±18°的地面区域）需避开首区地面重要区域和设施；场区现有工位发射任务的首区安全管道须避开新建发射工位。

b) 场区布局安全要求。新建工位与现有工位安全设防距离按照火箭发射台爆炸冲击波超压不大于0.015 MPa 设防，与其他工位距离不小于500 m；新建发射工位的安全管理区冲击波超压不小于0.003 MPa，技术区与发射区距离不小于1 500 m。

c) 选址符合长远规划。发射工位选址需符合试验区规划，利于保持完善发射区功能区划，便于综合保障与管理。

d) 具有良好依托条件。充分依托场区现有工位的加注、供气、供水、供电、供暖以及道路等试验及基础设施，降低新建发射工位投资。

e) 工程地质条件要求。应有利于发射区设施设备布局，试验人员、设备展开作业，同时避免不良地质影响，降低工程造价。

f) 首区测控支持要求。应考虑首区测控设备支持能力，充分利用现有条件，满足发射任务要求。

综合考虑发射工位选址原则和拟选区域工程地质条件初步勘察，工位定点在酒泉卫星发射中心载人航天发射工位西南方向约7 km的位置。

根据商业液氧甲烷发射工位定点方案，液氧甲烷工位的首区安全管道避开了液氧/液氮生产，避开了生活工作区，避开了载人航天发射工位及技术区等首区地面重要设施，现有发射工位的首区安全管道，载人航天待发段地面安全区也避开了液氧甲烷火箭发射工位，发射工位定点安全满足要求。

### 3.6 主要建设内容

商业液氧甲烷发射工位主要建设分为发射区和技术区两大建设内容。其中发射区围绕发射中心，布设导流槽、前端设备间1、前端设备间2、试车台体、电

缆通廊，周边设置液氧/液氮加注库、甲烷加注库、气源库、甲烷排火炬区、开闭站、消防冷却泵房和水池、高速摄影设施等；技术区建设火箭水平总装测试厂房、卫星总装测试厂房、指挥控制中心、总变电所、锅炉房和消防泵房、水池等辅助保障设施建设位置。技术区和发射区的主要设施和布局如图3和图4所示，图5为是ZQ-2运载火箭在发射区实施发射任务的示意。



a) 火箭水平总装测试厂房 b) 指挥控制中心

图3 技术区主要设施

Fig.3 The major facilities of technical region

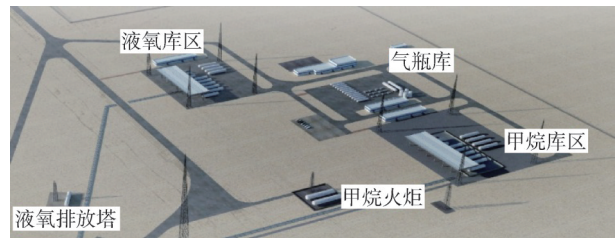


图4 发射区建设布局

Fig.4 The major facilities of launching region

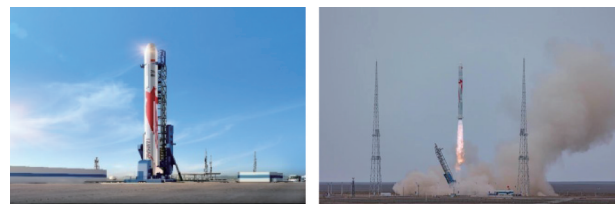


图5 ZQ-2在商业发射工位实施发射任务

Fig.5 The ZQ-2 launch vehicle operating in launch site

## 4 先进性分析

在任务方面，有力支撑了4次商业入轨级航天发射，以及2次VTVL技术验证试验（截至2025年3月），使中国成为首个能发射入轨级液氧甲烷运载火箭的国家<sup>[15]</sup>。在技术方面，该发射工位是中国首个完全“三平”测发模式的中型运载火箭工位，工位设计和建造采用极简思路，在中型工位中投资总额最低，设计测发周期10天，居中国领先水平。在管理方面，首次在国家发射场内建设商业发射工位，在“共建、共管、共用”的建设运营管理模式上，做出了有益的探索，开创了商业发射工位建设管理模式新河，为中国同类发射工位建设提供了参考。

## 5 结束语

随着世界航天产业的快速发展,中国航天技术正逐步实现广泛的商业化的应用。作为航天发展的巨大引擎,商业航天对国家安全、经济发展和科技进步将产生重要的促进作用,必将成为建设航天强国的重要推动力。中国商业航天发射虽有一定发展却存在诸多困难,通过多方努力目前已形成基本共识,商业航天发射同样是进出空间体系的一部分,推动商业航天发射发展,同样可提升国家核心竞争力。本文在商业航天发射发展体系规划的基础上,基于ZQ-2和SQX-2两型火箭发射场的要求,论证了在酒泉卫星发射中心建设商业液氧甲烷发射工位的可行性,并提出了总体设计方案。分析表明民营商业液氧甲烷发射工位总体方案符合任务实际、方案规模适度,可满足中国当时计划研发的商业液氧甲烷运载火箭的发射任务要求,可支撑商业航天发射企业的发展,提升商业航天发射能力和国际竞争力。

### 参 考 文 献

- [1] 张振军. 关于中国商业航天的法律思考[J]. 中国航天, 2015(12): 8-12.  
ZHANG Zhenjun. Legal study on China's commercial aerospace[J]. Aerospace China, 2015(12): 8-12.
- [2] 张振华, 白明生, 石泳, 等. 国外商业航天的发展及启示[J]. 中国航天, 2015(11): 31-39.  
ZHANG Zhenhua, BAI Mingsheng, SHI Yong, et al. Development and enlightenment of foreign commercial aerospace[J]. Aerospace China, 2015(11): 31-39.
- [3] 冯国栋. 论中国商业航天的法律体系构建[J]. 中国航天, 2017(9): 8-14.  
FENG Guodong. Study on the construction of the legal system of China's commercial aerospace[J]. Aerospace China, 2017(9): 8-14.
- [4] 陈海鹏, 张兵, 容易, 等. 美国航天商业运输发展之路述评[J]. 中国航天, 2013(9): 32-38.  
CHEN Haipeng, ZHANG Bing, RONG Yi, et al. Review of the development of American's commercial aerospace[J]. Aerospace China, 2013(9): 32-38.
- [5] 刘鑫. 商业航天发射服务研究与探索[J]. 中国航天, 2017(5): 40-42.  
LIU Xin. Research and exploration of commercial space launch service[J]. Aerospace China, 2017(5): 40-42.
- [6] 谢平, 李成方. 对航天军民融合发展的几点思考[J]. 中国航天, 2017(3): 10-15.  
XIE Ping, LI Chengfang. Some thoughts on the development of aerospace civil-military integration[J]. Aerospace China, 2017(3): 10-15.
- [7] 原民辉. 美国推动私营企业参与航天工业的分析与启示[J]. 卫星应用, 2014(9): 11-15.  
YUAN Minhui. Analysis and enlightenment of the United States to promote private enterprises to participate in the aerospace industry [J]. Satellite Application, 2014(9): 11-15.
- [8] 黄志澄. 美国航天军民融合向深度发展[J]. 卫星应用, 2015(11): 30-34.  
HUANG Zhicheng. The deep development of civil-military integration in the United States space industry[J]. Satellite Application, 2015(11): 30-34.
- [9] 盛英华, 吴佳林, 毛承元, 等. 基于产业思维的航天发射服务研究[J]. 宇航总体技术, 2018, 2(2): 62-68.  
SHENG Yinghua, WU Jialin, MAO Chengyuan, et al. Study on the aerospace launch service from the perspective of industrial thinking [J]. Astronautical Systems Engineering Technology, 2018, 2(2): 62-68.
- [10] 朱雄峰, 刘阳, 刘鹰, 等. 推动我国民商航天发射起步的思考[J]. 西北工业大学学报, 2019(37): 55-58.  
ZHU Xiongfang, LIU Yang, LIU Ying, et al. Considerations of propelling the space launching civil-military[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2019(37): 55-58.
- [11] 肖士利, 何巍, 秦旭东. 中国运载火箭测试发射模式发展思路研究[J]. 宇航总体技术, 2021, 5(1), 65-72.  
XIAO Shili, HE Wei, QIN Xudong. Research on the development of test and launch mode of Chinese launch vehicle[J]. Astronautical Systems Engineering Technology, 2021, 5(1), 65-72.
- [12] 同江, 刘阳, 刘鹰, 等. 下一代航天发射系统体系架构研究[J]. 导弹与航天运载技术, 2020(6): 74-77.  
TONG Jiang, LIU Yang, LIU Ying, et al. Study on the next space launch system architecture[J]. Missiles and Space Vehicles, 2020(6): 74-77.
- [13] 刘秀罗, 王佳, 吴枫, 等. 航天发射数字化合练技术研究与应用[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(9): 2227-2233.  
LIU Xiuluo, WANG Jia, WU Feng, et al. Research and application on space-launching mission simulated rehearsal technology[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(9): 2227-2233.
- [14] 刘秀罗, 吴枫, 王佳, 等. 箭-地-器接口一体化设计与仿真验证技术[J]. 系统仿真技术, 2020(3): 140-144+149.  
LIU Xiuluo, WU Feng, WANG Jia, et al. Interface integrated design and simulation technology of rocket-ground system-spacecraft[J]. System Simulation Technology, 2020(3): 140-144+149.
- [15] 李晓明, 刘晓敏. 朱雀二号遥二运载火箭及其技术特点[J]. 国际太空, 2023(8): 4-7.  
LI Xiaoming, LIU Xiaomin. ZQ-2 Y2 launch vehicle and the technology character[J]. Space International, 2023(8): 4-7.

### 作 者 简 介

- 朱雄峰 (1985—), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为航天发射运输。  
刘 鹰 (1979—), 男, 副研究员, 主要研究方向为航天发射运输。  
崔展鹏 (1981—), 男, 副研究员, 主要研究方向为航天发射运输。  
王一杉 (1990—), 女, 助理研究员, 主要研究方向为航天发射运输。  
雍子豪 (1989—), 男, 助理研究员, 主要研究方向为航天发射运输。