

# 高密度海上发射气象海洋保障策略分析

张 笑, 韩秀利, 郭俊杰, 张琳庚, 汪海涛\*

太原卫星发射中心, 山西 太原

收稿日期: 2024年11月15日; 录用日期: 2024年12月18日; 发布日期: 2024年12月30日

## 摘 要

气象海洋保障作为海上发射的重要环节, 已经成为高密度海上发射的制约因素。本文分析了未来海上发射高密度的任务形势, 归纳了海上发射气象海洋保障的特点, 总结了当前海上发射气象海洋保障的现状 & 问题, 最后提出了应对高密度海上发射气象海洋保障策略。提高参试人员及装备对海上发射任务的适应能力是完成海上发射任务和提供气象海洋保障的基础, 建立基于“混合云”的联合气象海洋保障模式、制定海上发射气象海洋保障标准体系、打造高素质气象海洋人才队伍等是实现气象海洋优质高效保障的有效措施。

## 关键词

运载火箭, 高密度海上发射, 气象海洋, 混合云, 标准

# Analysis of Meteorological and Oceanographic Support Strategies for High-Density Maritime Launches

Xiao Zhang, Xiuli Han, Junjie Guo, Lingeng Zhang, Haitao Wang\*

Taiyuan Satellite Launch Center, Taiyuan Shanxi

Received: Nov. 15<sup>th</sup>, 2024; accepted: Dec. 18<sup>th</sup>, 2024; published: Dec. 30<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Meteorological and oceanographic support is a crucial component of maritime launches and has become a limiting factor for high-density maritime launches. This paper analyzes the future situation of high-density maritime launch missions, summarizes the characteristics of meteorological

\*通讯作者。

文章引用: 张笑, 韩秀利, 郭俊杰, 张琳庚, 汪海涛. 高密度海上发射气象海洋保障策略分析[J]. 海洋科学前沿, 2024, 11(4): 229-235. DOI: 10.12677/ams.2024.114025

and oceanographic support for maritime launches, reviews the current status and issues of meteorological and oceanographic support for maritime launches, and finally proposes strategies for meteorological and oceanographic support in response to high-density maritime launches. Enhancing the adaptability of personnel and equipment to maritime launch missions is fundamental to accomplishing these missions and providing meteorological and oceanographic support. Establishing a joint meteorological and oceanographic support model based on a “hybrid cloud” framework, developing a standard system for maritime launch meteorological and oceanographic support, and cultivating a high-quality team of meteorological and oceanographic personnel are effective measures to achieve high-quality and efficient support.

## Keywords

Carrier Rocket, High-Density Maritime Launches, Meteorological and Oceanographic, Hybrid Cloud, Standard

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

运载火箭海上发射是一种新型、灵活、高效、经济的发射模式，为我国快速进入空间提供了新的尝试，填补国内海上发射空白，促进中国航天从航天大国向航天强国迈进[1]-[3]。与陆上发射相比，利用发射平台在海上大范围移动的优势，可灵活选择发射点和航落区以确保安全性，并能够有效解决低倾角发射的能力问题，满足日益增长的小卫星发射市场需求[4] [5]。海上发射促进了航天技术和海洋工程技术的跨域融合发展，为今后实现全球海域发射、可重复运载火箭海上回收奠定技术基础。

从 2019 年 6 月 5 日长征十一号(简称 CZ-11)运载火箭海上发射首飞成功，至 2023 年 12 月底，我国共采用三型运载火箭实施了 8 次海上发射任务，其中，CZ-11 运载火箭 5 次，捷龙三号(简称 SD-3)运载火箭 2 次，谷神星一号海射型(简称 GSX-1S)运载火箭 1 次，我国海上发射任务执行情况统计见表 1。从统计情况来看，海上发射任务数量呈现逐年上升趋势。气象海洋条件是影响海上发射乃至所有海事活动的重要影响要素[6]。陌生海域的观测和预报给保障带来了巨大的挑战，目前，国内针对海上发射保障特点及需求正在研究可行的保障模式[7]，已初步探索出“小团队 + 大后台”的组织模式，首次在航天发射活动中克服雷暴、降水、大风、浓雾、浪涌、潮汐等恶劣气象海洋条件的影响，准确预报、及时预警、趋利避害，实现了新保障要素的尝试和新保障模式的探索[8]。

面对未来高密度的海上发射任务如何有效地开展气象海洋保障具有十分重要的现实意义，但当前并没有成熟高效的保障模式可供借鉴使用[9]-[12]。本文将以海上发射保障实践为基础，对气象海洋保障的特点进行归纳总结，通过研究海上发射气象海洋保障新模式方法，探索高密度发射下的保障策略，为后续保障工作提供参考。

## 2. 海上发射气象海洋保障的特点

海上发射任务气象海洋保障与陆上定点发射任务不同。陆上定点发射任务气象保障模式成熟，观测体系完善，数据传输网络可靠，能够实时获取发射点位气温、气压、相对湿度、风向、风速、降水量、能见度、云、天气现象等天气实况数据。陆上发射气象预报员保障经验丰富，熟悉航天发射场地形及气候背景等特点，能够迅速基于上述资料研判天气形势，比较准确地做出预报结论。然而，海上任务的保

障除常规气象要素需求外，对有效波高及涌浪提出了明确的限制，还需重点考虑台风、风暴潮、海雾等灾害性天气的影响，对预报时效性和作业安全性要求更高。

**Table 1.** Statistics of China’s maritime launch missions  
**表 1.** 我国海上发射任务执行情况

| 序号 | 发射日期       | 运载火箭   | 发射海域 | 载荷                                  |
|----|------------|--------|------|-------------------------------------|
| 1  | 2019-06-05 | CZ-11  | 黄海   | 捕风一号 A/B 卫星等 7 颗                    |
| 2  | 2020-09-15 | CZ-11  | 黄海   | 吉林一号高分 03-1 组卫星 9 颗                 |
| 3  | 2022-04-30 | CZ-11  | 黄海   | 吉林一号高分 03D (21~24)/04A 卫星           |
| 4  | 2022-10-07 | CZ-11  | 黄海   | 微厘空间低轨卫星导航增强系统 S5/S6 试验卫星           |
| 5  | 2022-12-09 | SD-3   | 黄海   | 吉林一号高分 03D (47~50)星、天启星座 07 星等 14 颗 |
| 6  | 2023-09-05 | GSX-1S | 黄海   | 天启星座 21~24 星                        |
| 7  | 2023-12-06 | SD-3   | 南海   | 卫星互联网技术试验卫星                         |
| 8  | 2023-12-26 | CZ-11  | 南海   | 试验二十四号 C 卫星                         |

**2.1. 发射窗口宽度限制，气象海洋保障时间精度高**

发射窗口是指运载火箭发射比较合适的时间范围，这个范围的大小也称为发射窗口的宽度。虽然发射窗口的宽度有一定时间，但该发射窗口的前沿和后沿发射，对测控弧段和卫星载荷工作影响较大。通常发射窗口的确定，要考虑卫星功能需求、卫星轨道面特定要求、天体相对位置等约束条件，加之太空在轨航天器及空间碎片的限制，较好的发射窗口可能只有几十秒的宽度，为确保在较好的发射窗口内实施发射，高精度的定点气象海洋预报是不可或缺的。

**2.2. 远离陆地，保障力量依托少**

当前发射海域与母港的距离可达百海里级，由于远离母港，人员、装备、保障物资等不能得到及时补给，只能立足发射海域的已有人员、装备、物资完成发射任务。其中气象海洋保障方面，由于自身气象海况预报能力不足，只能由母港气象海洋保障力量协同参与完成，一旦遭遇极端恶劣天气，错过发射窗口后沿，发射任务只能中止。

**2.3. 参试产品装备对气象海洋条件要求高**

**2.3.1. 防雨要求**

前置控制舱、测量指控舱、发射支持系统起竖控制舱、通信方舱、三合一测试方舱等方舱类测试设备，本身具备防雨能力，但是方舱与方舱之间布设电缆舱口处存在渗水的风险，任务期间需要对所有地面方舱类设备电缆口进行防雨处理。任务过程中，地面测试电缆转接头处容易出现渗水风险，比如在某次海上发射任务中由于海上湿度过大，地面电缆转接头处出现了渗水情况，导致测试中漏电流超标，需要对所有地面测试电缆转接头进行注防水胶处理，同时将测试电缆铺设在电缆支架上或进行吊挂，并规定测试电缆严禁直接铺设在发射平台上。

**2.3.2. 防浪涌要求**

受浪涌影响，发射平台的晃动、摇摆会在运载火箭起竖状态下对其顶部产生较大的位移，在测试发

射阶段,对惯性敏感器件带来精度误差。由箭体晃动和浪涌冲击导致的低频振动可能对产品的安全性带来重大隐患。发射点位的精度会影响卫星的入轨精度,间接影响卫星的性能和使用寿命,发射点位精度通常靠发射平台抛锚定位精度来保证,而发射平台抛锚定位的精度受浪涌影响较大。在较大涌浪条件下,会发生绞锚的风险,重新起锚再抛锚需要 1~2 天的时间,对正常发射产生较大影响。除此之外,浪涌可导致保障船大幅度的摇摆和振动,继而引发卫通天线信道失锁和丢包率较高,某些时段还会产生通信中断。因此,卫通设备急需进行抗振性能改造,以适应复杂多变的海况。

## 2.4. 岗位人员海上作业安全要求高

通信方舱天线、远景相机及指控系统天线均架设在方舱顶部,任务过程中,岗位人员进行设备维护或防雨作业时,均需登上方舱顶部进行作业。当前安全措施有:一是作业时船停止航行,启动船尾侧向发动机,以保证船体稳定;二是绑系安全绳。任务期间,保障船和发射平台之间需要进行靠帮作业,主要工作有岗位人员去往发射平台检查设备状态、运送部分物资器材、发射最后阶段平台所有岗位人员撤离发射平台。靠帮作业时两船的纵(横)摇角度、两船之间的相对高度差都会对人员及物资输送的安全性带来风险。

## 3. 海上发射气象海洋保障现状分析

截至 2023 年 12 月,我国虽然已成功实施了 8 次海上发射,但与陆上发射相比,海上发射气象海洋保障经验还存在明显不足,主要表现在以下方面。

### 3.1. 参试装备及人员对海上发射经验及适应能力不足

与陆上发射相比,海上发射在发射样本上数量差距巨大,经验积累明显不足。主要表现在以下方面:一是参试产品、参试设备大多是陆上产品及设备改造后参加海上发射,对于海上环境适应性和稳定性方面还缺乏充分验证;二是参试岗位人员缺乏专业的海上适应性训练,在风高浪急、平台晃动的环境下安全操作不够适应;三是海上发射参试人员均为陆上发射人员兼任,没有气象海洋方面的专业知识储备,尚不能充分理解和感受气象海洋指标,对于不同季节不同海区不同天气形势下的保障要点把握不充分。

### 3.2. 海上发射所需气象海洋条件提报不够精准

研制单位及岗位人员对参试产品、参试装备、船舶作业、人员安全操作等所需的气象海洋条件不够明确,提出的指标不够清晰具体,还存在测试过程中临时变更气象海洋条件的情况,导致预报人员着眼点不断变化,增加了保障难度。

### 3.3. 气象海洋保障力量较为薄弱

气象系统岗位人员长期从事陆上气象保障,担负海上发射任务之前未从事过海洋要素保障。目前,气象海洋保障很大程度上依靠属地支持,与属地气象海洋部门之间未设专线进行信息传输,实况资料传输时效性不强、效率不高、内容单一、可视化程度低,导致天气形势研判不够及时准确。具体表现如下:一是观测手段不足。黄海、东海、南海等沿海海域的海洋环境保障,分属自然资源部不同海洋预报中心,海洋要素观测手段以浮标为主,浮标分布呈现“近多远少”的特征,沿海城市与岛屿也建有分散海洋观测站点,实时监测和获取海洋信息。远海与公海由于现实需要迫切程度不高,加之浮标管理难度加大,浮标布设较少,观测手段比较缺乏,因此发射海域实况观测资料的获取,是海上发射气象海洋保障水平提高的一大掣肘[13][14]。二是数据传输手段不够。气象海洋保障需要大量的数据传输,因海上传输受制于卫星通信传输时延大、带宽不足、稳定性差等体质缺点,只能传输小体积图文资料,无法满足大量实



况及天气预报模式资料的实时传输分析需求。三是保障经验不足。团队气象预报员大多缺乏海洋要素预报理论基础和实战经验,对陌生海域的气候背景知之甚少,对台风、风暴潮、海雾等影响任务进程的灾害天气缺乏系统理论研究,海洋要素人才匮乏是影响团队独立执行海上发射任务气象海洋保障的一个显著短板。

#### 4. 高密度海上发射气象海洋保障策略分析

海上发射的显著优势奠定了其蓬勃发展的基础,随之而来的高密度发射任务也为气象海洋保障带来了新的挑战,海上发射产品型号的日益丰富以及时域空域的拓展必将面临保障条件的严酷考验。以现有的参试人员适应能力、装备性能以及气象海洋保障模式还难以适应未来的发展,因此不断提高参试人员及装备对海上作业环境的适应性,以及更新完善现有保障模式及策略显得尤为重要。

##### 4.1. 提高参试人员及装备海上发射适应性

一方面,参试过程中大部分岗位人员上船后出现了不同程度的晕船现象,而船员则鲜有此情况发生,原因是船员在长时间海上作业下已经适应了环境,因此可以通过建设和完善海上作业适应性训练设施,提高参试人员对不同海况的适应能力,同时对参试人员进行海上作业安全知识、气象知识等方面的培训,提高参试人员对气象海洋要素的理解能力和风险应对能力。今后应组织人员编写气象保障相关的训练课目和配套教材,结合训练设施,将其纳入参试人员年度岗位训练和考核中去。另一方面,通过改造或新研参试设备,以降低参试装备对气象海洋保障的依赖性。一是提高设施设备防雨能力,对地面测试电缆转接头全部进行注防水胶处理,同时将方舱电缆口用防水发泡胶进行封口处理,并用防水塑料布进行封口;二是对通信方舱底部增加减震部件,同时优化通信算法,解决数据丢包严重的问题;三是优化箭机程序,对浪涌产生的振动进行滤除,提高产品测试精度;四是对所有参试产品进行加固处理,增加结构强度,提高产品抗风浪和抗振动能力。

##### 4.2. 建立基于“混合云”的联合气象海洋保障模式

气象海洋保障的基础在数据,预报员能够掌握天气演变规律、天气系统走势、影响区域范围等全部得益于各种实况和预报数据。为适应高密度海上发射及陌生地域机动发射保障任务,必须充分利用属地气象海洋部门站点多、资料全的优势,弥补当前海上发射保障实况资料欠缺的问题。根据海上发射的联合保障模式,考虑数据特性及传输手段的差异已初步建立基于互联网及任务专网的“数据云”雏形。因为各参试单位运行机制的不同以及数据分发权限差异较大,该“数据云”仅支持部分产品共享,且单项传输效率较低,严重制约各参试单位的联合会商,难以发挥其优势资源,造成联合保障的效率大打折扣。

展望新形势下的密集型海上发射任务对气象海洋保障能力的要求,构建基于“混合云”的联合气象海洋保障体系,可以有效整合计算资源,促进保障信息融合,提高保障资源利用和共享水平,为指挥机构、一线作业单位提供强大、高效、安全的计算资源和按需按权的信息服务保障,对进一步提高差异化个性服务能力具有强力推动作用。该保障体系与传统保障模式相比,优势在于“云”将分散的保障力量与庞杂的保障信息等体系要素相互链接,高效管控保障资源,智能优化作战决策,实现体系效能的精准释放及保障资源的全域共享<sup>[15]</sup>。海上发射任务气象海洋保障,应由中心气象海洋“私有云”加地方气象海洋“公有云”共同组成。私有云和公有云的部署完全物理隔离。私有云是专为任务建立的气象海洋保障云,保障人员以终端模式连接云端,打造“云+端”模式,实现气象海洋保障的业务扁平化和服务均等化。公有云依托地方气象系统“气象云”的气象服务支撑系统,可为联合气象海洋保障提供数据支撑、云计算环境支撑、高性能计算支撑、大数据挖掘技术支撑。保障人员可从公有云获取各类实时观测探测数据、处理加工数据、历史数据、预报预测产品等。

该保障模式通过对不同终端用户设定使用权限,既可以通过地方气象海洋公有云获得全面、便捷的公共保障服务,又可以通过气象海洋私有云获得个性化定制化的私有保障服务,并且充分保证了任务信息的安全。

### 4.3. 建立海上发射气象海洋保障标准体系

从以往的保障来看,各气象保障协作单位存在数据及产品标准不统一的问题,加之沟通会商渠道不畅,为气象海洋的预报带来了困难。因此,在构建“混合云”的基础上,制定完善统一的保障标准体系显得格外重要。标准化数据、格式以及保障规程的建立将极大地提高气象海洋保障水平和效率,为今后高密度全天候气象海洋保障奠定基础。数据的准确性、一致性、相关性、及时性原则是气象海洋保障的重要基础条件。目前,国际上在气象海洋环境保障方面也建立了相应标准化体系[16],未来海上发射的气象海洋保障标准体系建立应注重以下几个方面:一是气象海洋保障体系应具有多维覆盖、预报能力强、有辅助决策能力、信息化等特点,且向一体化探测体系、联合预报技术、信息定制和集成的方向发展;二是将标准化视为一项战略,实现互联互通操作,充分发挥系统深度融合的战略优势;三是除了官方的气象海洋业务机构,还应将其他业务科研单位(如高校、气象科技公司、船舶动态服务提供商等)纳入保障体系。

### 4.4. 建设高素质气象海洋人才队伍

随着新使命、新任务、新职能的拓展,亟需建设具有气象海洋各要素观测预报保障能力的专业人才队伍,以满足未来高密度的海上发射需求。气象海洋人才队伍的建设离不开相关学科的有力支撑[17],构建气象海洋人才队伍建设需要全方位加强人才培养,在综合考虑大气海洋保障人才培养的理论和实践基础上,将人工智能、大数据等理念引入气象海洋保障业务领域,充分应用大数据和人工智能技术,建设全覆盖、智能化的气象预报保障业务体系。

物联网、移动互联网和大数据分析技术作为气象海洋数据传输处理工具,不仅能够丰富和发展气象海洋自动感知要素的能力,还可以在在一定程度上实现有用信息的自我挖掘,极大地提高气象海洋数据质量[18]。海上发射的精细化预报要求在时效、趋势、范围和量级等方面都尽可能做到定点、定时、定量,将云计算技术、大数据处理技术、数据挖掘技术、可视化技术等信息技术与传统气象预报技术相结合,既可以增强数据处理能力,又有可能催生新的科技理论和预报方法,从而提高保障和质量的有效性。综合考虑人员数量、人才结构、业务分工,建设一支精通新技术、素质高、业务精的气象海洋保障队伍,是完成高密度海上发射气象海洋保障任务的必备条件。

## 5. 结论

运载火箭海上发射具有陆上定点发射不可比拟的诸多优势,面对日益增长的卫星用户发射需求,高密度的海上发射任务形势已经显现,并将成为航天发射的一种常态。目前,海上发射气象海洋保障由于经验较少、限制较多,尚未形成一套成熟的保障模式。与以往不同的是,本文在总结当前气象海洋保障现状和存在的问题的基础上,结合海上发射气象海洋保障的特点,给出了未来应对高密度海上发射气象海洋保障的可行策略。提高参试人员及装备对海上发射任务的适应能力是完成海上发射任务和提供气象海洋保障的基础,建立基于“混合云”的联合气象海洋保障模式、制定海上发射气象海洋保障标准体系、打造高素质气象海洋人才队伍等是实现气象海洋优质高效保障的有效措施。

## 参考文献

- [1] 殷金龙. 海上火箭发射稳定平台的设计与仿真研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2016.
- [2] 白雪梅, 洪鸿雁. 海上发射平台未来前景[J]. 中国船检, 2019(8): 86-89.

- 
- [3] 李同玉, 彭昆雅. 中国首次海上发射技术试验综述[J]. 中国航天, 2019(6): 7-12.
- [4] Saha, G.K., Suzuki, K. and Kai, H. (2004) Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms in Shallow Water. *Journal of Marine Science and Technology*, 9, 51-62. <https://doi.org/10.1007/s00773-003-0173-3>
- [5] 李志辉. 火箭发射在海上[J]. 世界发明, 2000(4): 11-12.
- [6] 刘大刚, 吴彬贵, 解以扬, 等. 海事气象保障服务现状及发展趋势[J]. 中国航海, 2014, 37(1): 131-135.
- [7] 韩秀丽, 许国志, 李成, 等. 海上发射气象保障需求分析[J]. 导弹试验技术, 2022(4): 49-51.
- [8] 张笑, 郭俊杰, 余江林. 海上发射任务气象海洋保障模式研究[J]. 导弹试验技术, 2023(1): 9-12.
- [9] 王则胜. 船艇部队海上勤务水文气象保障探析[J]. 军事交通学院学报, 2018, 20(8): 27-30.
- [10] 刘大刚. 海事气象保障服务现状及发展趋势[J]. 中国航海, 2014, 37(1): 131-135.
- [11] 韩冰. 国内外海事气象保障服务之比较研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2016.
- [12] 葛坤. 中国近海大风浪条件下渔船气象保障研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2013.
- [13] 黄孝鹏, 曹伟, 崔威威, 等. 外国海洋环境监测系统与技术发展趋势[C]//中国造船工程学会电子技术学术委员会. 中国造船工程学会电子技术学术委员会装备技术发展论坛论文集. 杭州: 中国造船工程学会电子技术学术委员会, 2017: 36-41. <https://www.cpdf.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-ZGZC201710001008.htm>
- [14] 牛向华, 朱文会, 孙秀军, 等. 面向海上发射任务的气象海洋无人观测系统设计与实现[J]. 水下无人系统学报, 2022, 30(2): 245-253.
- [15] 李娜, 雷鹏正, 万新龙. 基于“云”的联合作战气象海洋保障体系服务部署探究[J]. 国防科技, 2022, 43(6): 123-127.
- [16] 张宁康, 泉浩芳, 曹志成, 等. 美军气象海洋战场环境保障标准化现状分析[J]. 航天标准化, 2021(4): 32-36.
- [17] 中国气象局. 智慧气象理念的内涵与特征再认[R]. 2015.
- [18] 槐泽鹏, 龚旻, 陈克. 未来战争形态发展研究[J]. 战术导弹技术, 2018(1): 1-8+29.