

# 北斗导航工程卫星发射气象保障综述

江晓华,许平平,杨 查,胡云涛,党建涛,张 滢

(西昌卫星发射中心技术部,四川 西昌 615000)

**摘要:**对历次北斗导航卫星发射气象保障进行研究,重点分析了发射前8 h气象影响因素。结果表明,制约北斗导航卫星发射的气象因素主要是雷暴、降水和高空大风。气象保障历程表明西昌发射场气象预报技术和大气探测技术有了长足进步,气象保障任务取得了圆满成功。

**关键词:**北斗导航卫星;发射;气象保障;场区

**中图分类号:**V555+.21 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2020)03-0027-04

## On Meteorological Support for Launch of BeiDou Navigation Satellite System

JIANG Xiaohua, XU Pingping, YANG Cha, HU Yuntao, DANG Jiantao, ZHANG Ying

(Technological Department of Xichang Satellite Launch Center, Xichang, Sichuan 615000, China)

**Abstract:** This paper focuses on the meteorological support for the launch of BeiDou navigation satellite system with an emphasis on analysis of the impact of meteorological factors during the eight hours before launch. Results show that the meteorological elements of thunder storm, precipitation and upper wind are major constraints on the launching of BeiDou navigation satellites. The support process shows clearly that great progress has been made in weather forecasting technology and atmospheric detection technology by Xichang Satellite Launch Center, and the missions of meteorological support have been fulfilled successfully.

**Keywords:** BeiDou navigation satellite; launching; meteorological support; area

## 0 引言

2020年6月23日上午,因技术原因推迟一周发射的北斗三号工程GEO-03卫星在西昌发射场“重启”发射后布阵太空,我国提前半年全面完成北斗全球卫星导航系统星座部署,预示着具有中国特色和独立知识产权的全球卫星导航系统全面建成<sup>[1]</sup>。

北斗卫星导航系统是中国着眼于国家安全和经济社会发展需要,自主建设、独立运行的卫星导航系统,是为全球用户提供全天候、全天时、高精度的定位、导航和授时服务的国家重要空间基础设施建设系统。北斗卫星导航工程卫星均在西昌发射场发射升空,发射成功率100%。

20世纪后期,我国开始探索适合中国国情的卫星导航系统的发展道路,北斗导航工程逐步形成了三步走发展战略。分别由北斗一号工程、北斗二号工程、北斗三号工程组成。北斗一号工程是由双星定位的试验系统,主要向中国提供服务。北斗一号工程卫星属于试验星,共计进行了4次发射,均为

GEO(地球静止轨道)轨道,01星于2000年10月31日发射升空,04星于2007年2月3日发射升空。北斗二号工程卫星由GEO、IGSO(倾斜地球同步轨道)、MEO(地球中圆轨道)三种轨道卫星组网构成,2012年年底基本建成了北斗二号系统,开始向亚太地区提供服务。北斗二号工程共进行了22次卫星发射,从2007年4月14日发射试验星开始,到2019年5月17日北斗二号GEO-8星成功发射收官为止,发射了8颗GEO轨道卫星、9颗IGSO轨道卫星、8颗MEO轨道卫星共计25颗北斗导航卫星。北斗三号工程于2020年建成,是属于北斗全球星座系统,向全球提供服务。北斗三号工程首星于2017年11月5日发射,至2020年6月23日发射北斗三号工程GEO-03卫星建成全球导航系统为止,共计进行了18次卫星发射,其中发射GEO卫星3颗、IGSO卫星3颗、MEO卫星12组合计30颗卫星。从北斗二号01星起算,我国共计发射了55颗北斗导航卫星。2035年将还将建设完善更加融合、更加智能的综合时空体系。

## 1 任务气象保障气候分析

北斗导航工程共计三期在西昌发射场进行了44次卫星发射,跨度从2000—2020年长达21 a。北斗导航卫星发射通常由长征三号甲、长征三号乙、长征三号丙火箭等作为运载工具,根据星箭的特点和西昌发射场发射工艺流程的需求,发射任务气象保障通常有五个关键节点,分别是火箭转场、卫星或组合体转场、全区合练、常规燃料加注、液氢液氧低温燃料加注及发射。本文为节省篇幅,主要分析低温燃料加注及发射的气象保障,主要时段为发射窗口及-8 h的短时和临近气象保障。

西昌发射场地处青藏高原东麓的横断山脉,属中亚热带滇北湿润区,独特的地理环境形成了特殊的气候背景。发射场气候全年四季差异小,不分明,根据降水量的分布特点,可分为干季、雨季和介于二者之间的过渡季节。全年大致划分为:12月—翌年3月为干季,6—9月为雨季,4—5月和10—11月为过渡季节。

统计44次发射日发现,按月份划分:1月2次、2月4次、3月4次、4月5次、5月2次、6月4次、7月4次、8月2次、9月4次、10月3次、11月6次、12月4次。即全年各月均有,通过时间序列的分析发现,西昌发射场以北斗导航卫星为核心的航天发射任务频率由局部高密度,向常态高密度发展。从季节划分来看,北斗任务发射季节概率总体分布为:干季为31.8%、雨季为31.8%、过渡季节为36.4%。

西昌发射场干季气候的主要特点是:气候干燥,晴天多,降水稀少,高空风大,偶有寒潮。场区雨季气候特点是:雨量充沛、多夜雨、雷暴频繁。过渡季节4—5月的前期气候具有干季的一些气候特点,后期则具有雨季的一些气候特点。4—5月份局地小范围对流天气明显增加。10—11月过渡季节的气候特点是:干季气候特点逐渐增加,雨季特征逐渐减少。

## 2 影响任务的主要气象因素及保障分析

影响西昌航天发射任务的气象因素通常包括雷暴、降水、高空风、浅层风、地面风、逐时气温、湿度、能见度等,主要会影响到任务不同关键节点的实施进程。分析44次任务发射日发现,制约航天发射任务的气象影响因素大多数还是雷暴、降水和高空大风。

首先分析雷暴天气数据,统计44次北斗任务发射日-8 h~-4 h之间的时间段可知:共出现7次

雷暴天气,1次远电天气。从月份分布来看,3月份1次、4月份2次、7月份1次、8月份2次、9月份1次;7月份该时段出现远电1次。该7次雷暴天气从-8 h延续到-4 h并在发射窗口前结束的有2次,分别为2009年4月15日北斗二号GEO-2星发射任务(伴随有零星小雨)<sup>[2]</sup>和2018年7月29日北斗三号MEO-5组双星发射任务。7月份-8 h出现远电1次的个例是2011年7月27日北斗2号IGSO-4星发射,并且-4 h出现强雷暴,伴有强降水(-4 h 22.8 mm降水)<sup>[3]</sup>。另外,还有5次雷暴天气仅仅出现在-8 h,未能延续到-4 h。-8 h出现雷暴天气同时伴有明显降水的有5次,另外2次则伴有0.0 mm的零星降水。

统计44次北斗任务发射日-4 h至发射窗口前之间的时间段可知:共出现4次雷暴天气。分别为2003年5月25日北斗一号第3颗试验卫星、2009年4月15日北斗二号GEO-2星发射、2011年7月27日北斗二号IGSO-4星发射和2018年7月29日北斗三号MEO-5组双星发射。其中,-4 h内雷暴天气伴随有0.0 mm零星降水的1次、中雨雨强的1次、大雨雨强的2次。北斗任务发射日-8 h雷暴天气出现概率为7/44约为15.9%。-4 h雷暴天气出现概率为4/44约为9.1%。北斗任务发射日-8 h和4 h总共出现雷暴天气概率为11/44即25.0%。由此可见,雷暴天气是北斗发射任务气象影响因子最重要的因素,直接威胁到星箭和人员的安全。发射窗口雷暴天气的有无则是任务实施的放行准则之一。

其次分析降水天气数据,统计44次北斗任务发射日-8 h至-4 h之间的时间段可知:出现0.0 mm的零星降水(含1次零星小雪)次数为7次,其概率为7/44约为15.9%;出现小雨降水次数为5次,其概率为5/44约为11.4%;出现中雨降水次数为2次,其概率为2/44约为4.5%;累计出现降水次数14次,其概率为14/44约为31.8%。其中,-8 h出现降水,延续到-4 h仍然出现降水的次数为11次,其概率为11/44即25.0%。

统计44次北斗任务发射日-4 h至发射窗口前之间的时间段可知:出现0.0 mm的零星降水(含1次零星小雪)次数为6次,其概率为6/44约为13.6%;出现小雨降水次数为4次,其概率为4/44约为9.1%;出现中雨降水次数为1次,其概率为1/44约为2.3%;出现大雨降水次数为2次,其概率为2/44约为4.5%;累计-4小时出现降水次数13次,其概率为13/44约为29.5%。

统计44次北斗任务发射窗口的时间段(通常

30~50 min)可知:出现0.0 mm的零星降水(含1次零星小雪)次数为5次,其概率为5/44约为11.4%;出现小雨降水次数为2次,其概率为2/44约为4.5%;出现大雨降水次数为1次,其概率为1/44约为2.3%;发射窗口累计出现降水次数8次,其概率为8/44约为18.2%。由于雷暴是任务放行的禁止项,因此,发射窗口均未出现雷暴天气。

表1 北斗任务发射日相关气象数据 %

|      | -8 h | -4 h | 发射窗口 |
|------|------|------|------|
| 雷暴概率 | 15.9 | 9.1  | 0    |
| 降水概率 | 31.8 | 29.5 | 18.2 |

高空大风也是制约发射的重要因素之一。1995年1月26日,在西昌发射的“亚太二号”时,发生了因高空风切变造成星箭俱毁的爆炸事故<sup>[4]</sup>。西昌发射场近年来多次出现因高空风偏大,高空风 $Q \times \alpha$ 值超过各自火箭飞行预警安全阈值,为保证火箭飞行安全而不得不调整发射进程的事件。例如:2017年1月,试验通信技术二号卫星因预测高空风 $Q \times \alpha$ 值偏大,推迟一天发射成功;2017年12月,遥感30-03组卫星因预测高空风 $Q \times \alpha$ 值偏大,提前一天发射成功;2018年1月,遥感30-04组卫星因预测高空风 $Q \times \alpha$ 值偏大,提前一天发射成功。此3次原定的发射日高空风的探测实况也证明高空大风确实过大,调整发射日的决策是科学的。北斗系列卫星发射未出现因高空风过大而改变任务进程的事件,但是在干季发射时,通常都要进行适当的高空大风的风补偿修正,以确保火箭飞行安全。

### 3 气象保障技术手段进展分析

针对航天发射气象保障技术通常包括两个方面:一方面是气象预报技术,另一方面的大气观测探测技术。西昌发射场气象系统针对北斗导航卫星气象保障也随着国内外的气象保障技术的进步而发展。

从气象预报技术发展而言,主要是随着数值预报技术发展,向气象预报“分时、分段、精细、准确”方向发展。变化最大是数值预报技术由粗网格向细网格发展,无论是欧洲中期数值预报模式,还是中国气象局数值预报模式均已经转变为全球和区域的细网格数值预报模式,其预报时效由5 a提高到10 a,短期内时间分辨率更是达到1~3 h,空间格点细化到5 km×5 km,准确率明显提高,并且明显增加了大量气象要素的物理量诊断和预报。

比如,针对西昌发射场雷暴和降水预报等有欧洲数值中心细网格的K指数、抬升指数、假相当位

温、相对湿度平流、涡度平流、大气可降水量等物理量诊断和预报;高度流场、相对湿度、对流降水、大尺度降水、累积降水、24 h变温、24 h变压、P坐标垂直速度、对流有效位能、低云覆盖和总云量覆盖等;以及降水、湿度、云量的集合预报、多要素叠加预报、逐层高空风预报等,时空分辨率明显提高。

中国气象局数值预报模式也逐步发展。由T213模式、T639模式发展到目前的GRAPES全球模式和区域模式,时空分辨率明显提高。西昌发射场应用区域模式产品主要有:降水预报、雷达组合反射率、FY4A卫星云图模拟预报、1、3、6、12 h降水+10 m风场等以及集合预报产品。另外,日本的降水预报也是场区雨季降水预报一种重要参考资料。场区自己研制的区域数值预报系统也有较大进展,由MM5区域模式发展到WRF区域模式,在小范围区域预报方面进步较大。大量国内外数值产品的应用,为提高场区精细化预报水平提供了技术支持。

预报专业针对任务的需求变化和技术的发展,定期更新场区气候志和气象要素手册,不断开展天气专题研究和科学研究,针对场区雷暴、降水、高空风、逐时气温、浅层风等保障重点,近年来开展了“青藏高原东南部山区地形强对流天气精细化预报保障技术研究”“欧洲中心细网格模式在西昌发射场短期降水预报中的应用研究”“西昌发射场短期天气集合预报技术研究”“西昌发射场逐层高空风预报技术研究”“影响西昌发射场的MCC预报技术研究”“西昌发射场区域数值天气预报系统”“基于国产基础软件的气象预报综合业务平台”等一系列课题研究,并将相关成果及时转化为保障能力<sup>[2-15]</sup>。

场区气象情报专业,结合气象观测探测手段的发展,不断提高气象数据信息化处理水平,下面简要介绍主要装备的进步。

气象卫星:随着中国气象卫星事业的发展,场区气象保障所用的气象卫星也进步飞速。1997年6月10日中国地球静止轨道气象卫星第一代卫星风云二号A星在西昌发射升空,改变了气象保障沿用日本葵花系列气象卫星的历史。随后在西昌发射场分别于2000年6月发射风云二号B星、2004年10月发射风云二号C星、2006年12月发射风云二号D星、2008年12月发射风云二号E星、2012年1月发射风云二号F星、2014年12月发射风云二号G星、2018年6月发射风云二号H星<sup>[16]</sup>和2016年12月发射中国地球静止轨道气象卫星第二代卫星风云四号A星。这些中国气象卫星的发射为北斗系统卫



星的气象保障和亚太地区的气象服务提供了技术支撑,尤其是风云四号A星探测精度更高,时间分辨率也由过去15~30 min,提高到5 min;产品更加丰富。例如可见光分辨率达到了500 m,另外还增加了1 km真彩色云图、4 km对流初生云图、4 km降水估计云图以及云类型云图等,极大地丰富了风云卫星的产品内容,明显提高了气象保障水平。

**天气雷达:**发射场于1997年装备了714CD测雨雷达,该雷达为C波段固定式多普勒测雨雷达,由于装备时间早,技术较落后,不能在网络上传输数据,探测精度和产品分析等存在致命弱点,因此在北斗导航工程气象保障早期也制约了气象保障的能力。2008年场区装备了CY02双线偏振多普勒天气雷达,该雷达是X波段固定式多普勒测雨雷达,探测精度较高,探测产品较丰富;另外,为解决场区山区地形影响,2006年又在场区装备了车载式X波段多普勒天气雷达。2007年四川省凉山州气象局在西昌市凤箱口装备了一部C波段多普勒天气雷达(海拔高度约2 700 m),并且并入了全国统一的天气雷达监测网。西昌发射场及时引进了该雷达探测产品。由于三部雷达的海拔高度不同,可以互为补充,明显提高了短时临近天气预报和强对流天气的预警预报能力,在多次航天任务中发挥不可或缺的重要作用。

**风廓线雷达:**2006年西昌发射场从芬兰引进了一部LAP-12000风廓线雷达,可以全天候探测12 000 m以下场区高空风,该设备稳定运行了十多年。近期,为提高探测精度和设备的维修可靠性,装备了一部国产CFL-16型对流层风廓线雷达,最大探测高度超过16 000 m,探测精度:风速 $\leq 1.5$  m/s、风向 $\leq 10^\circ$ 、高度150 m。风廓线雷达的装备为场区干季高空大风的保障提供了重要技术支撑。

**雷电监测预警系统:**西昌发射场是国内最早装备雷电监测预警系统的发射场,其监测预警系统由地面电场仪网、空中电场探测系统和闪电定位系统组成。地面电场仪网最早装备于20世纪90年代初,经过多次升级换代,现已经在场区周围装备了8个地面电场仪单站组成的网络,通常可提前10~30 min

进行雷电预警;空中电场探测系统最早于2004年开始试验,经过了三次升级换代,通常于发射前4 h进行气球搭载空中电场仪进行探测,雨季,天气复杂时,视情况增加1~2次探测,通常其探测的大气电场值作为任务放行的条件之一;闪电定位系统第一代于1994年装备,型号为SD-1型,由场区附近4个探测站点组成。后经过多次升级换代,2014年装备了ADTD-2C型闪电定位系统,由8个探测站点组成,探测精度明显提高,并且纳入全国统一的雷电监测预警网,提高了探测精度和共享程度。闪电定位系统的建立为场区雷暴的定点、精细预报和预警提供了技术支持。

另外,场区在地面观测、浅层风探测、高空探测、气象自动站、数字气象资料接收处理系统、气象数据卫星广播系统、气象网络和数据库系统等方面也随着时代的发展进步明显,为提高信息化气象保障水平提供了技术支持。气象系统不断总结经验教训,认真识别任务风险因素,修改完善气象保障组织实施方法和协同程序,圆满完成了质量、环境和安全管理目标,高质量完成历次气象保障任务。

#### 4 结语

1)北斗导航工程所有卫星均在西昌场区发射,共进行了44次卫星发射,年度跨度从2000年至2020年长达21 a,从北斗二号01星起算,我国共计发射了55颗北斗导航卫星,发射成功率为100%。

2)北斗导航工程卫星由GEO、IGSO、MEO三种轨道卫星组网构成,北斗三号工程卫星已经建成卫星全球导航系统。

3)研究发现制约北斗导航工程卫星发射任务的气象影响因素主要是雷暴、降水和高空大风,虽然历经复杂天气的重重考验,历次北斗卫星发射气象保障仍然取得了圆满成功。

4)西昌发射场气象保障技术历年来取得了长足的进步,国产气象卫星、多普勒天气雷达、雷电监测预警系统和数值天气预报系统、气象网络系统等软硬件的发展为任务成功提供了坚实的技术支撑。

#### 参考文献:

[1] 李国利,胡喆,张汨汨.中国北斗 服务全球——写在我国完成北斗全球卫星导航系统星座部署之际[EB/OL]. [2020-06-23].新华网, [http://www.xinhuanet.com/politics/2020-06/23/c\\_1126150066.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2020-06/23/c_1126150066.htm).

[2] 江晓华,汪正林,党建涛,等.“北斗二号”导航卫星(GEO-2)发射短时气象保障[J].西昌学院学报(自然科学版),2009,23(3):68-72.

[3] 江晓华,党建涛,汪正林,等.第九颗北斗导航卫星发射日强对流天气临近气象保障分析[J].西昌学院学报(自然科学版),2011,25(3):44-47.

[4] 杨本湘.西昌发射场区旱季高空最大风的分析预报[J].气象,2003,29(2):22-25.

[5] 江晓华,党建涛,李刚.第23颗北斗导航卫星发射雨季气象保障分析[J].西昌学院学报(自然科学版),2016,30(3):11-14.

表5 3班、8班组统计量表

| 班级 | N  | 均值     | 标准差      | 均值的标准误  |
|----|----|--------|----------|---------|
| 3班 | 30 | 79.960 | 12.228 3 | 2.232 6 |
| 8班 | 26 | 66.673 | 18.826 7 | 3.692 2 |

表6 3班、8班独立样本检验表

| 方差方程的 Levene 检验 |             | 均值方程的 t 检验 |        |          |          |         |            |          |
|-----------------|-------------|------------|--------|----------|----------|---------|------------|----------|
| F               | Sig.        | t          | df     | Sig.(双侧) | 均值差值     | 标准误差值   | 差分的95%置信区间 |          |
|                 |             |            |        |          |          |         | 下限         | 上限       |
| 假设方差相等          | 7.137 0.010 | 3.172      | 54     | 0.002    | 13.286 9 | 4.188 9 | 4.888 8    | 21.685 1 |
| 假设方差不相等         |             | 3.079      | 41.805 | 0.004    | 13.286 9 | 4.314 7 | 4.578 3    | 21.995 6 |

表7 1班、8班组统计量表

| 班级 | N  | 均值     | 标准差      | 均值的标准误  |
|----|----|--------|----------|---------|
| 3班 | 30 | 78.007 | 11.136 1 | 2.033 2 |
| 8班 | 26 | 66.673 | 18.826 7 | 3.692 2 |

表8 1班、8班独立样本检验表

| 方差方程的 Levene 检验 |              | 均值方程的 t 检验 |        |          |          |         |            |          |
|-----------------|--------------|------------|--------|----------|----------|---------|------------|----------|
| F               | Sig.         | t          | df     | Sig.(双侧) | 均值差值     | 标准误差值   | 差分的95%置信区间 |          |
|                 |              |            |        |          |          |         | 下限         | 上限       |
| 假设方差相等          | 11.722 0.001 | 2.785      | 54     | 0.007    | 11.333 6 | 4.069 7 | 3.174 3    | 19.492 9 |
| 假设方差不相等         |              | 2.689      | 39.342 | 0.010    | 11.333 6 | 4.215 0 | 2.810 3    | 19.856 9 |

以1班和3班的期末成绩无显著差异。更进一步,0落在95%的置信区间上,也表明了期末成绩无显著差异。

从表5、表6可分析出3班和8班的期末成绩存在显著差异。在独立样本检验表中,F统计量值为7.137, sig 值为0.01, 0.01 小于显著水平 $\alpha(0.05)$ , 所以方差不相等。t的检验值为3.079, 对应的双侧概率P值为0.004, 而显著水平 $\alpha$ 为0.05, 则P/2 小于 $\alpha$ , 所以1班和3班的期末成绩存在显著差异。

同理,由表7、表8可分析出1班和8班的期末成绩存在显著差异。特别是三个班彝族学生期末成绩平均分为72分,总评成绩为77.4分,比同级其他班级的平均分都高一些。

## 4 结语

改革后的教学方法和手段,能够增强少数民族学生的计算机操作能力,强化应用计算机解决问题的能力,增加基于网络学习的意识,增强信息技术的素养,有利于计算机思维的培养。

目前,MOOC+SPOC,MOOC+慕课堂等线上线下教学平台的快速发展促进了翻转课堂的实施。“大学计算机基础”课程未来的教学也将基于翻转课堂,通过MOOC+SPOC,线下观看课程视频,线上讨论与操作。任务驱动,案例分析,精准扶错,同学协作等教学方法贯穿其中。但是具体可行的实施方案还需要继续深入学习和研究。

## 参考文献:

- [1] 谭浩强.面向计算机应用与科学思维能力培养——关于计算机基础教育深化改革的思考[J].计算机教育.2014(7):4-8.
- [2] 教育部高等学校计算机基础课程教学指导委员会.高等学校计算机基础教学发展战略研究报告暨计算机基础课程教学基本要求[M]北京:高等教育出版社.2009.
- [3] 清华新闻网.学堂在线推出智慧教学工具——雨课堂[EB/OL].(2016-06-17)[2019-11-27]. [http://news.tsinghua.edu.cn/publish/thunews/9660/2016/20160617101758935397134/20160617101758935397134\\_.html](http://news.tsinghua.edu.cn/publish/thunews/9660/2016/20160617101758935397134/20160617101758935397134_.html).
- [4] 清华新闻网.上线两周年,雨课堂如何引领课堂革命?[EB/OL].(2018-04-04)[2019-11-27]. [http://news.tsinghua.edu.cn/publish/thunews/10303/2018/20180403143206113202673/20180403143206113202673\\_.html](http://news.tsinghua.edu.cn/publish/thunews/10303/2018/20180403143206113202673/20180403143206113202673_.html).

(上接第30页)

- [6] 许平平,胡雪平,江晓华,等.西昌发射场雨季开始期早晚的气候性分析[J].高原山地气象研究,2017,37(S1):73-76.
- [7] 李刚,江晓华,杨查,等.近40a西昌卫星发射中心雨季降水周期及突变特征分析[J].西昌学院学报(自然科学版),2017,31(2):60-63.
- [8] 施萧,裴军林,江晓华,等.基于环流分型的逐时气温预报技术探讨[J].沙漠与绿洲气象,2013,7(3):17-20.
- [9] 刘宸钊,裴军林,汪正林,等.对流参数主分量旋转法在西昌地区雷暴预报中的应用[J].成都信息工程学院学报,2014,29(3):322-327.
- [10] 卓伟,郭学文,樊晶.基于T213数值预报的西昌发射场高空风预报技术研究[J].高原山地气象研究,2012,32(4):51-54.
- [11] 许平平,江晓华,党建涛,等.西昌卫星发射场及周围地区大气可降水量的气候分析[J].高原山地气象研究,2013,33(1):41-46.
- [12] 施萧,徐幼平,胡邦辉,等.支持向量机在雷暴预报中的应用[J].气象,2012,38(9):84-89.
- [13] 汪正林,党建涛.特殊地形及地形梯度对西昌发射场暴雨的影响[J].气象,2006,32(12):36-42.
- [14] 杨查,江晓华,樊晶,等.嫦娥四号探测器发射日高空大风气象保障分析[J].导弹试验技术,2019,3:78-80.
- [15] 党建涛,汪正林,江晓华,等.西昌发射场区域数值天气预报业务系统设计与应用[J].高原山地气象研究,2014,34(S1):331-334.
- [16] 江晓华,许平平,张滢,等.风云二号H星发射气象保障分析[J].西昌学院学报(自然科学版),2018,32(4):71-74.