

“北斗二号”导航卫星(GEO-2)发射短时气象保障

江晓华,汪正林,党建涛,裴军林,杨道勇,张俊

(西昌卫星发射中心,四川 西昌 615000)

【摘要】对“北斗二号”导航卫星(GEO-2)发射日的短时气象保障进行了阐述,并对当日复杂的雷雨天气进行了诊断分析和数值模拟。结果表明,气象信息的综合分析与应用、高风险天气的有力应急机制是搞好复杂天气短时气象保障的关键。

【关键词】导航卫星;气象保障;场区

【中图分类号】V555*.21 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2009)03-0068-05

1 引言

2009年4月15日零时16分,我国在西昌卫星发射中心用“长征三号丙”运载火箭,成功将第2颗北斗导航卫星(COMPASS-GEO2)送入预定轨道^[1]。本次发射是长征系列运载火箭第116次发射,这颗卫星的成功发射,对于北斗卫星导航系统的建设具有十分重要的意义。

4月14日西昌发射场区,19:19~22:35之间出现雷暴天气,其中雷暴天气影响较明显的时段主要出现在19:19~21:05之间。19:25~22:10出现总降水量为0.0mm的阵性零星小雨。发射窗口场区云量4~6成,无天气现象。

发射前5~2小时之间出现的雷电天气给场区发射活动造成了紧张局势,发射中心气象保障人员及时启动高风险天气气象保障应急机制,全面分析红外、水汽等卫星云图资料,加大多普勒天气雷达探测密度,闪电定位系统、地面电场仪、风廓线雷达连续开机监测,并进行了两次空中电场探测,及时收集场区周围的航危报资料,通过对短时气象信息的综合分析和天气会商,气象发言人(笔者)及时发布了发射场区雷电活动将逐步东移南下,21h以后基本结束对场区的直接影响,临近发射窗口时天气明显转好,发射窗口无降水无雷电活动的预报结论。此结论为发射指挥员确立按时发射的决策提供了重要依据。

2 发射月气候背景及气象保障难点

4月,西昌发射场区处于干季向雨季过渡的季节,南支急流开始减弱,东亚大槽逐渐北收,中尺度天气系统开始活跃,槽脊移速加快。西太平洋副热带高压开始西伸北抬,水汽沿雅-布河谷向东北方向的场区附近输送。场区附近北方干冷空气和西南暖湿气流交替出现,高空风和地面大风明显减小,气温升高,对流性天气增多。

4月份场区天气复杂多变,中小尺度的局地性

天气经常出现,对流性天气生消时间短,场区上游气象观、探测站点稀少,天气预报难度大。根据季节特点,4月份场区气象保障的重点和难点是雷暴、降水和地面大风天气的预报。

3 短时气象保障

3.1 发射前12小时气象保障

14日上午10h,发射指挥部领导在场区气象工作间,听取了发射前12小时天气汇报。气象发言人介绍了当时天气环境,分析了场区天气的有利条件和不利条件。

有利条件主要有:

14日08h的500hPa高空形势本区为弱高压脊控制,西昌为8m/s的弱西北风,温度露点差为9℃,与之相对应的温度场为弱暖脊,上游无明显冷平流。700hPa高空本区也为弱脊,场区东侧为弱切变,西昌为6m/s的弱东北风,温度露点差为4.9℃,温度场配合的形势为场区北侧有弱冷平流。08h的地面24小时变压场分析表明,场区上游为0~-2hPa的负变压区,本站及东侧为1~2hPa的正变压区,说明上游地区无明显地面冷空气影响迹象。场区10h以前为少云天气,天气逐渐回暖。卫星云图分析可得,场区上空及西部上游地区为少云区。

根据数值预报分析,14日20h,场区上空500hPa仍然为弱脊下的西北气流控制;700hPa为4m/s的弱西南气流中,700hPa相对湿度场区约为60%左右,属于较湿润量级;850hPa变温场分析表明场区周围降温不明显,西侧有-1~-2℃左右弱的负变温区,本站及东侧为2~5℃的回暖变温区;场区处于地面变压预测为-4hPa左右的负变压区。

不利条件主要有:

①08h的500hPa和700hPa均为弱风场;②场区上空09h探测的气象雷达站测风3000m以下为弱西南风,3000m以上为弱西北风,因此在3000m左右存

在弱的垂直风切变,有利于场区当日出现对流天气;③从大气总能量演变的角度分析发现,14日08h低层700hPa的大气总能量从前天的48.5上升到49.0,而500hPa的则是从50.3下降47.9,出现了低层总能量增加高层总能量减少的情况,也有利于场区上空垂直不稳定能量的产生,不排除场区的雷暴天气的出现;④场区上空及西部上游地区为少云区,由于12~13日场区及西部上游地区均有降水天气出现,地表水汽条件较湿润,14日白天回暖后,局地加热明显,因此在场区午后至傍晚前后容易出现局地对流性天气。

综合分析场区相关有利和不利气象因素可得出,场区受弱高压脊控制,无明显冷空气影响,白天为晴间多云天气,上游西北方向巴塘县至九龙县附近午后可能出现局地加热形成的对流云系,16~21h之间场区无法排除局地对流性天气,需要严密监视。不过即使出现局地对流天气,由于发射窗口为00h以后,因此,根据季节特点和高空引导气流的移动速度分析,发射窗口无降水无雷电活动。

发射指挥员根据此预报结论,指示气象系统严密监视场区上游对流天气的演变,发现异常情况及时报告,测试发射系统作好防雷电、防雨措施,发射任务按计划实施低温燃料的加注,发射零时维持不变。

3.2 发射前6~4小时气象保障

场区10h~17h,云量为2~5成,主体为高云(卷云Ci),明显属于晴间多云天气,气温较前一日回暖明显,16h最高气温达23.1℃,比13日最高气温18.2℃高出5℃左右。场区100km范围内无对流天气。

从卫星云图的演变分析表明,17h之前,场区西北部的对流发展并不明显,14h之前基本为无云区,直到下午13h场区西北方向出现松散的小对流单体云系。气象保障人员在17:04卫星云图上发现,场区上游西北方向正如所关注的那样,出现西北-东南走向的狭长弱对流云系,云系前沿距离场区约35km左右,发展趋势是加强东移的,对流云中心云顶亮温为-35.1℃,处于对流云发展的初期阶段。

17:22闪电定位系统监测到场区西略偏北方向65km处出现第一个闪电,之后闪电频率不是很高。至18:20,场区上游方向出现三个闪电群,分别位于场区西侧的木里县、西南侧的盐源县、北侧的冕宁县,各有十数个交汇闪电,另外,西北方向的九龙县和东北方向的越西县也有少量的闪电出现。此时

场区40km范围内只有个别闪电出现。

18h天气雷达监测到场区西北方向的强对流回波,距离约35km,强度在30dBz左右,移向以东移为主。

分析场区周围凉山州附近的17个站点航危报发现,15h周围均为晴天;16h盐源多云有阵雨,木里和冕宁出现3成云量,其余仍然为晴空区;17h场区西南方向的木里、盐源为8~9成的多云区,场区北侧的冕宁5成云,东北方向的越西7成云,其余站点少云;19h冕宁10成云量有雷暴,甘洛、越西、喜德、美姑、昭觉、德昌转为多云,其余为少云。

地面电场于18:40开始上涨,越过1.0kv/m线,19h达到2.0kv/m,并有加强趋势。

针对18h左右场区西北方向出现的对流活动,发射中心气象保障人员及时启动高风险天气气象保障应急机制,各监测系统全面加密监测,并迅速组织进行了快速天气会商,主要就云图上场区北边和西边对流云的发展趋势、移向、影响强度、影响时间进行分析、判断,根据对连续雷达回波数据以及与云图数据的综合分析,初步判定对流云系将发展东移,并有扩散趋势,移速在20~30km/h之间,强度正在加强,北侧的对流云团将主要影响冕宁、喜德、越西一带,西侧的对流云团将主要影响西昌,场区处在两块对流云团之间,在未来1小时内有可能受其边缘云系影响,场区将出现雷暴天气,云团主体将在21~23h之前移出场区,发射窗口不受影响。

18:38气象系统向阵地指挥所发布场区雷电预警。18:40,气象发言人及时向发射指挥员汇报了场区将出现雷雨天气,降水以零星阵雨为主,雷雨天气主体影响时间在19~21h之间,最迟23h将移出场区,临近发射窗口时天气将明显好转,发射窗口无降水无雷电活动的预报结论。

依据上述结论,发射指挥员指示,继续密切监测对流天气的发展,在作好防范措施的同时发射任务按计划进入负4小时程序。

场区于19:19在西北方向首先监测到雷暴天气,随后分别在场区的正北、东北、正南方向分别监测到雷暴天气,并于19:25开始在场区出现零星阵雨,主体雷雨天气于21:05基本结束,过程降水量为0.0mm(零星小雨)。

3.3 1~2小时气象保障

出现雷雨天气后,气象系统按应急预案实施高风险天气保障。多次向指挥部领导汇报雷电天气演变情况。雷雨天气出现后,领导和参试人员主要关心雷雨天气何时结束影响。发射中心气象保障

人员则从多方面短时气象信息进行监测和综合分析。

从卫星云图的半小时一次的资料分析表明,包括红外、水汽和水汽亮温差等云图的连续分析,对流云团东移过程中不断扩散,18:04对流云团前沿逼近场区;19:01~20:04对流云团主体正处于场区上空;21:04场区处于对流云图西部后界;21:30对流云团基本上移出场区,向东、向南方向扩散影响西昌、喜德、越西等县市。图1所示,21:30风云二号D星红外水汽亮温差图就可清楚地看出,此时对流云团已经移出了场区。

根据雷雨天气应急预案,场区多普勒天气雷达连续开机,并根据情况提供图像,对流发展旺盛时,基本上是一分钟提供一次探测资料。分析天气雷达的相关资料包括强度、速度的平显和高显可发现,从18:39左右开始,场区西北方向探测到雷达回波,并东移发展,逐步影响场区。此间,对流回波主要分成两块,即南北两块,场区处于两块回波中间的弱回波中,因此,场区以雷暴天气为主,降水并不明显。

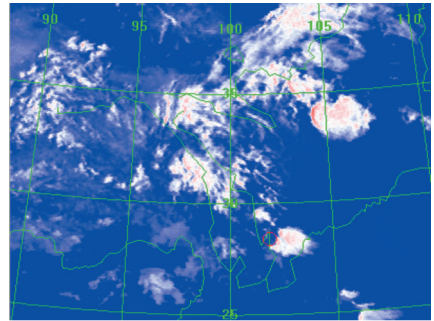


图1 4月14日21:30风云二号D星红外水汽亮温差图

图2所示(左为平显,右为高显),至21:13:33时,对流高显回波场区15km内只有6~8km高度层有弱回波,主要是中高云回波,低层无回波,表明场区15km范围内已经无对流回波。此时此刻雷达平显回波则在场区20km以外,主体分为东部、南部两部分,即分别在喜德和西昌地区。从移动方向分析,未来主要继续向东、向南移动,南北两块可能要分裂,场区未来将不会受到对流的直接影响,主要可以观测到南侧西昌地区的远雷,从移动速度分析,21:30基本上就可以排除场区雷电的主体影响,22:40就可完全排除雷电云团的影响。

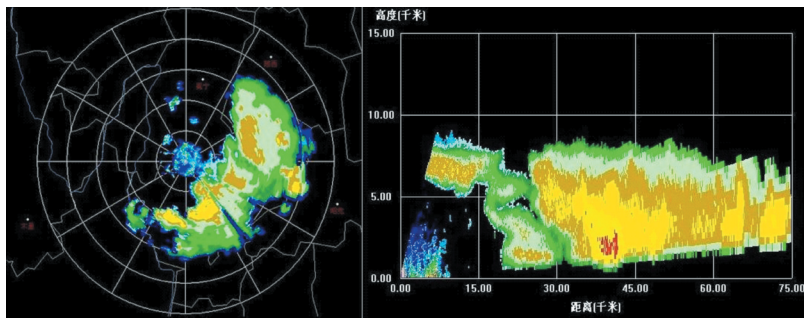


图2 4月14日21:13:33场区便携式天气雷达平显和高显(方位109°)回波图

分析场区多个地面电场探测仪数据表明,场区在19:10~21:10之间,地面电场变化活跃,数值波动明显偏大,21:10之后,明显减弱,并趋于平稳。图3就是4月14日18~22h场区气象台监测的地面电场值演变曲线图。最大电场出现在20:00:25,数值达27.5kv/m。

出现雷电后,气象保障人员对闪电定位资料每十分钟一次汇总分析,结果表明,闪电首先出现在场区西北和西南方向,而后在场区正西、正北方向

逐步出现,20~21h之间主要出现在场区北侧35~50km的冕宁县和南侧20~40km的西昌市的礼州、锅盖梁等乡镇及西侧附近,场区正好处于南北两块主闪电群中间的弱闪电区中,闪电密度较小,强度较弱。21:30以后闪电则在场区40km以东的越西、喜德及场区南侧35km以南的西昌市区附近出现。22:00之后,场区40km警戒圈只有南部偶尔出现孤立闪电,闪电对场区的影响基本结束。

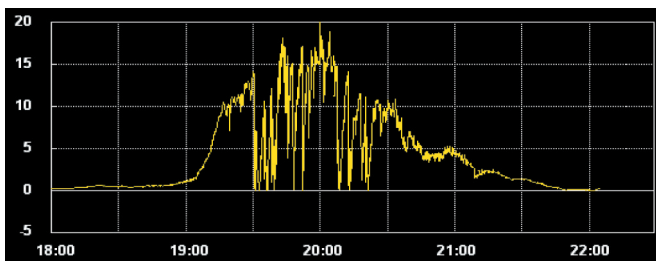


图3 4月14日18~22h场区气象台监测的地面电场演变曲线图

为了进一步探明场区上空电场情况,气象系统进行了两次空中电场探测。18:16开始的第一次探测,主要是对对流云发展并逼近场区时进行的。此区间空中电场的最大值出现在18:42:27,对应高度是4266.2m,最大空中电场值为0.2968kv/m。21:48开始了第二次探测,主要是对流云基本移出场区时进行的。此区间空中电场的最大值出现在21:56:58,对应高度是4770m,最大空中电场值为0.4174kv/m。空中电场探测值表明,场区经过18~21h的对流发展,21h以后对流明显减弱,21:50以后空中电场值已经明显小于预警阈值,满足发射条件中的电场要求。此探测值为发射指挥员决策提供了重要依据。

从场区风廓线雷达探测的测风资料分析表明,09:00~20:50之间,场区上空2000~3500m之间存在西北风与西南风的较强垂直风切变,其中18~20h之间切变强度最大,22h场区上空垂直风切变消失,表明利于对流发展的场区垂直风场开始转变为稳定的、不利于对流发展的高空风场。

气象保障人员通过上述资料的综合分析,得出场区雷雨天气在22h基本结束,逼近发射窗口天气时将明显好转,发射窗口无降水无雷电天气的预报结论。根据领导指示,分别于发射前80分钟、60分钟向指挥部领导进行了明确汇报,为发射任务按程序实施提供了重要决策依据。

4 诊断及数值模拟

发射试验任务完成后,气象系统对发射日气象信息进行了相关诊断分析和数值模拟。

4.1 诊断分析

4.1.1 湿度剖面分析

沿29°N方向,作4月14日20h实时纬向相对湿度剖面图,分析研究发现,95~105°E、700~400hPa之间区域为40%~60%的相对湿度较湿润中心。场区上空700hPa以下相对湿度为30%~40%之间,比较干燥。表明场区附近湿度场不湿润,因此,不会出现明显降水。这与场区射前只是出现0.0mm的零星小雨相一致。

4.1.2 垂直速度剖面分析

沿29°N方向,作4月14日20h实时纬向垂直速度剖面图,分析研究发现,94~103°E上空为垂直速度正值区,并且其500~300hPa高度层有25~45的正值中心区。表明,14日20h场区西侧上游中上层有明显垂直上升运动区,利于对流发展,但由于低层上升运动不强,因此,雷暴强度不是很强,这与场区只是出现普通雷暴而未出现强雷暴的实况相一致。

4.1.3 地面变压分析

分析14日08h地面变压图发现,三江源及以西、西北地区为-1~-2hPa的负变压区,场区附近西北地区巴塘、九龙至场区一带为1~2hPa的正变压区,表明场区附近地面气压变化不是很明显,无地面冷空气直接影响场区,主要考虑地面局地加热效应引起的对流活动。

4.1.4 高空风场剖面分析

沿102°N方向,作4月14日20h实时经向风场垂直剖面图,分析研究发现,27~32°N,700~400hPa高度层存在4~6m/s的弱风场,并且西北风与西南风的切变明显,此环境场明显利于出现对流天气。

4.1.5 风廓线分析

分析14日风廓线雷达资料表明,场区09h左右开始在2500m出现西北风与西南风的弱风场及切变。19~20h西北风与西南风切变最明显,16~20h之间2000m以下出现东南或南风,21h前后4500m以下中低层转为一致的西南风,切变消失。场区上空切变层较明显的时段与对流发展的时段一致,21h以后高空风场切变消失,对应的雷电活动明显减弱并消亡。

4.1.6 闪电定位信息分析

发射前,闪电源自场区西北和正西方向,而后向东、向东北、向南三个方向发展。从交汇的云地闪电定位信息(图4所示)可以发现,发射前闪电主要出现在两个矩阵内,即场区正北及东北方向的冕宁、喜德、越西境内;以及场区西南及南侧的木里、盐源、西昌境内。场区8km闪电数并不是很多。这与场区实况观测的雷暴强度不强,雷暴主体影响时间是19:19~21:05的现象相一致。

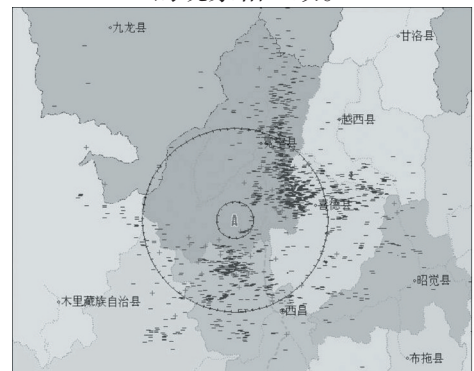


图4 发射前场区附近云地闪电定位信息综合图

4.2 数值模拟

利用4月13日20h的初始场气象报文资料进行数值模拟分析,采用MM5区域精细化网格模式^[2]进行模拟分析。数值模式采用双向三重嵌套网格对这次过程进行数值模拟研究。模式区域中心位置是场区附近的位置(102°E、28°N),模式区域在

垂直方向分23个σ层,分别为σ=1.00,三重区域的水平格点数分别为:61×61、91×91、91×91;相应的水平格距分别为45km、15km、5km。

模拟结果表明,场区单站逐时降水是14日18~20h有零星降水,与实况一致。

区域降水量模拟如图5所示,场区北侧的冕宁、西及西南侧的木里、盐源、西昌分别有10~30mm的强降水中心,场区处于1~5mm的弱降水区内。分析实况可发现,强降水中心分别在冕宁、木里、盐源、西昌附近,模拟降水中心位置是正确的。场区降水趋势上较小也是一致的,只是场区单站降水模拟偏大了一个量级。

另外,通过对大气稳定性和雷暴指数等模拟,得出了场区14日傍晚前后有雷暴天气出现的结论。

通过数值模拟可发现,场区14日的雷雨天气模拟结果与实况趋势上基本一致,只是场区单站降水模拟为小雨,比实况的零星小雨偏大一个量级,雷雨天气时段也基本一致。

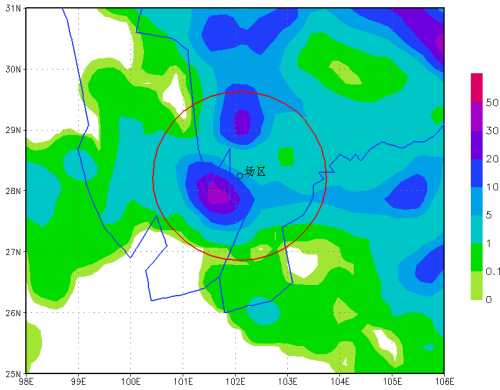


图5 利用4月13日20h气象信息进行的区域降水量数值模拟

注释及参考文献:

[1]李清华. 中国成功发射第二颗“北斗2代”导航卫星[EB/OL]. 新华网, 2009 04 15.
 [2]江晓华, 党建涛. “亚太六号”卫星发射日气象保障及数值模拟分析[J]. 四川气象, 2005(4): 7-10.

On Short-time Meteorological Support when Launching the Beidou-2 Navigation Satellite(GEO-2)

JIANG Xiao-hua, WANG Zheng-lin, DANG Jian-tao, PEI Jun-lin, YANG Dao-yong, ZHANG Jun
(Xichang Satellite Launch Center, Xichang, Sichuan 615000)

Abstract: After expounding the short-time Meteorological support on the day when launching the Beidou-2 navigation satellite (GEO-2), analyzing the complicated storm weather and simulating the numerical weather forecast, the conclusion that can be drawn is that it's the key to analyze and apply the meteorological information comprehensively, and make an emergency mechanism of high risk weather to guarantee short-time meteorological report.

Key words: The navigation satellite; Meteorological support; Area
 ?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

5 讨论

5.1 4月14日的天气过程是高空弱高压暖脊控制下的局地热力对流发展起来的雷雨天气过程,是场区不常见的非典型的雷雨天气形势。

5.2 此类局地对流天气在短期时效内完全确立或排除雷雨天气的难度很大;在短时临近预报时效内则可以比较准确地预测其发展趋势。

5.3 在航天气象保障中,要经常树立忧患意识,保持清醒头脑,尤其是在大环境比较乐观的背景下,要切实查找不利因素,做好各类保障预案。

5.4 在出现高风险的危险天气时,按照质量管理体系要求,应及时启动应急机制,临危不乱,排除干扰,一方面及时发布危险天气预警信息,另一方面综合分析相关气象信息,找出影响天气的主要因子,做出未来准确的临近订正预测,为寻找合适的发射时机提供重要决策依据。

5.5 任务后,需要及时总结气象保障经验教训,加强针对性训练,努力将科研训练成果转化为实际保障能力,改进保障内容、方式、手段等,不断提升保障水平。

6 结束语

“北斗二号”导航卫星(GEO-2)发射日场区遭遇了一次局地对流性天气,发射中心气象系统及时启动应急机制,采取切实有效的保障措施,风险控制有效,做出了准确地临近预报,为发射任务按计划实施提供了重要决策依据,取得了良好保障效果。