

嫦娥五号飞行试验器发射日雷雨天气过程气象保障分析

江晓华, 党建涛, 李刚, 刘宸钊, 杨查

(西昌卫星发射中心, 四川 西昌 615000)

【摘要】简要介绍了嫦娥五号飞行试验器发射日对任务进程有重大影响的射前8小时雷雨天气的保障, 对该雷雨天气过程的降水、雷暴预报和物理量进行详细分析。结果表明, 发射窗口天气预报准确、及时、可靠, 为发射任务成功实施提供了重要决策依据, 是一次成功的航天气象保障个例, 可为后续高密度航天试验任务气象保障提供借鉴。

【关键词】场区; 发射; 雷暴; 降水; 气象保障

【中图分类号】v555+.21 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1673-1891(2015)01-0028-04

DOI:10.16104/j.cnki.xccxb.2015.01.009

引言

北京时间2014年10月24日02时00分, 我国自行研制的探月工程三期再入返回飞行试验器, 在西昌卫星发射中心用长征三号丙运载火箭发射升空^[1], 11月1日6时42分, 再入返回飞行试验器在内蒙古四子王旗预定区域顺利着陆, 中国探月工程三期再入返回飞行试验获得圆满成功^[2]。首次再入返回飞行试验圆满成功, 标志着我国探月工程进入“绕、落、回”的第三个阶段, 已经全面突破和掌握航天器以接近第二宇宙速度的高速再入返回关键技术, 为确保嫦娥五号任务顺利实施和探月工程持续推进奠定了坚实基础, 进一步提升了我国航天事业的国际影响力。

本次任务发射窗口只有10月24~26日3天, 并且要求“零窗口”发射。发射中心气象部门在5天前就预测了发射日当晚有一次高原波动天气影响西昌发射场区的天气过程。该天气过程是否伴有雷暴, 是否会影响到发射窗口, 成为能否按时发射的关键。发射指挥员明确要求气象部门准确预报雷雨天气活动的起止时间和强度。气象系统受命后, 严密组织, 细化分工协作, 认真开展了风险分析, 实施了风险评估, 制定了风险管理对策^[3], 按照决策气象服务产品制作的方法^[4], 综合分析各类气象信息, 利用天气学诊断法、多种数值预报法和统计预报法等手段, 于23日上午向指挥部发布了预报结论: 雷暴天气将在24时前停止, 24日01~02时降水减弱为零星小雨, 满足发射最低气象条件。准确、精细的天气预报结论为发射指挥部决策提供了重要依据, 火箭按时顺利升空, 气象保障任务获得圆满成功。总结此次经典的雷雨天气保障过程, 为后续航天气象保障提供借鉴, 是一项有意义的工作。

1 射前-8小时保障概况

10月23日17时30分, 笔者(气象发言人)代表气象系统向任务指挥部领导进行了正式天气汇报。发布了西昌发射场射前-8小时天气预报结论为: 多云, 地面风西北风1~3 m/s, 气温10~18℃, 天气现象有小雨和雷暴, 雷暴发生时段: 18:00~24:00; 降水时段: 18:00~24:00, 小雨, 00:00~02:00, 零星小雨。发射窗口预报结论为: 7~10成低云, 气温10~12℃, 露点8~10℃, 相对湿度70%~95%, 西北风1~3 m/s, 零星小雨, 无雷暴, 无地面大风, 地面电场<1000 V/m; 高空风最大风速45 m/s, 风向265°, 高度11000 m。

气象发言人向发射指挥员汇报了此预报结论的主要依据是:

①统计分析发现, 场区在10月24日前后5天的逐时天气现象概率发现, 雷暴在16~24时之间出现概率较大, 24时之后迅速降低, 02时雷暴概率平均只有5%; 降水在18~01时之间出现概率较大, 01时之后迅速降低, 02时降水概率平均只有13.9%。

②分析23日08时天气形势发现, 500 hPa高空22日夜间至23日凌晨影响场区的高原槽主体已经东移到长江中游, 不会对场区造成影响; 但在95°E, 30°N的三江源西南侧地区有高原短波小槽, 随着其缓慢东移预计会在夜间影响场区; 同时场区高空500hPa温度场在场区附近有弱冷平流存在, 700 hPa高空为弱风场, 也会造成不稳定天气影响场区。海平面变压场中, 场区北侧及西北侧30°N附近的三江源地区有弱的正变压, 变压中心为+2 hPa, 预示着有弱冷空气渗透影响场区。这种高低空明显不稳定形势的配合, 预示场区将受高原波动配合弱冷空气共同影响, 极易发生对流性降水。推断高原波动的移动速度和影响时间, 预计雷暴和降水主体集中在前半夜, 后半夜天气现象不明显。

收稿日期: 2014-11-19

作者简介: 江晓华(1965-), 男, 高级工程师, 主要从事高原气象和航天气象保障技术研究。

③针对雷暴产生的机制分析雷暴的相关要素发现,23日08时的各类不稳定能量指标显示场区处于不稳定区域内(场区单站K指数为37,KY指数为3,SI指数为-2),09时场区高空垂直测风在3000m左右有明显的高层西北风和低层西南风的切变,并且风速较小,极易产生雷暴。

④分析本区附近上空垂直速度的剖面图可发现,23日08时,场区同纬度地区上空850~500hPa,同经度地区上空850~250hPa之间存在明显的上升运动,均有利于出现雷雨天气。

⑤中国气象局T639、T799降水模式、细网格降水模式、日本降水模式、以及场区区域降水模式等多种预报模式预报西昌发射场区23~24日的降水分布是:23日16~24时有小雨,01~02时为零星小雨,02以后基本无降水。

⑥中国气象局T639等多种细网格资料分析500hPa3小时一次流场预报发现:23日20时,500hPa流场的强辐合区位于场区同一经度的场区-冕宁-九龙-康定附近,场区为偏西气流,正受辐合上升运动影响;23日23时,500hPa流场的强辐合区位于场区东侧的西昌-喜德-越西-石棉附近,场区为偏西北气流,辐合上升运动主体区域经场区向东移动;24日02时,500hPa流场的强辐合区位于场区东北侧的冕宁-越西-石棉-雅安附近,场区为西偏北气流,强辐合上升运动主体区域距离场区偏北偏东,结束了对场区的影响。

另外,结合场区的天气实况、地面电场、空中电场和闪电定位等探测系统,以及多普勒天气雷达、卫星云图等信息综合分析,也可得出同样结论。

经听取气象系统的-8小时预报后,指挥部决定按时进行火箭低温燃料加注,并定于预定的发射零时发射。最后,场区天气实况是:雷暴活动从23日20:28开始,至23:28结束,降水18:12~24:00出现9.5mm,00:05~01:04出现0.2mm的零星小雨。发射零时(2014年10月24日02时),场区天气实况为:多云,无降水,无雷暴,地面风速1m/s,气温9.1℃,露点8.7℃,高空风最大风速43m/s,风向266°,高度11593m。

由于气象系统的发射窗口天气预报做到了准确、及时、可靠,为发射指挥员正确决策提供了有力支撑,火箭按计划实现了“零窗口”发射,气象保障获得圆满成功,受到总部、中国航天局、航天科技工业集团总公司和任务指挥部等领导和广大参试人员的高度赞扬。

2 降水预报分析

2.1 降水实况

对本次雷雨过程的降水实况进行分析。从降水的区域分布情况看,这次降水过程,四川省凉山州大部分县市出现了降水,降水量主要集中在西昌、场区、木里附近。场区降水量最大为9.7mm,其次是西昌为9.3mm。从场区单站降水量时间分布可见,降水时段主要集中于20时~23时,其中,22时降水量最大,为6.9mm。

2.2 降水量客观预报分析

对目前业务常用的几种主流的数值预报模式的降水预报产品进行分析,如表1所示。可以看出中国气象局T639预报、细网格预报、日本数值预报都较好的预报出了23日05~08时的降水,降水量级也与实况比较吻合。23日08~17时,场区没有明显降水,降水量为0.0mm,细网格预报降水量为2.4mm,T639预报降水量为2.8mm,日本数值预报的降水量为0.2mm,可见此段时间区间的细网格和T639预报降水量级偏大,而日本数值预报与实况较为吻合。23日20时~24日02时,场区降水量为9.6mm,细网格预报的降水量为2.7mm,T639预报的降水量为1.7mm,日本数值预报的降水量为0.4,各家预报量级均偏小,日本预报偏差最大。

表1 关于西昌场区的主要数值预报产品逐三小时降水量预报与实况对比

	23日					24日			
	08时	11时	14时	17时	20时	23时	02时	05时	08时
细网格	0.5	0.7	0.2	1.5	0.8	0.8	1.1	0.3	0.3
T639	0.6	0.5	1.1	1.2	0.5	0.6	0.6	0.5	0.0
日本	0.9		0.2		0.1		0.3		0.6
实况	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0	8.4	0.2	0.0	0.0

2.3 发射场数值预报产品分析

西昌发射场区域数值预报系统是一套基于MM5V3.7数值模式建立的区域数值预报产品。该系统输出的场区降水量预报产品如图1所示。从降水预报区域看,该系统较好的预报出了这次降水过程的时段分布和区域分布。从场区单站降水量预报分析,发现降水出现时段与场区实况较吻合,但是降水量预报量级较为偏小。

3 雷暴预报分析

3.1 天气形势

23日08时500hPa的天气形势显示,在95°E,30°N的三江源西侧地区有高原波动,随着其缓慢东移预计会在夜间影响场区;同时温度场在场区附近有弱冷平流存在,也会造成不稳定因素影响场

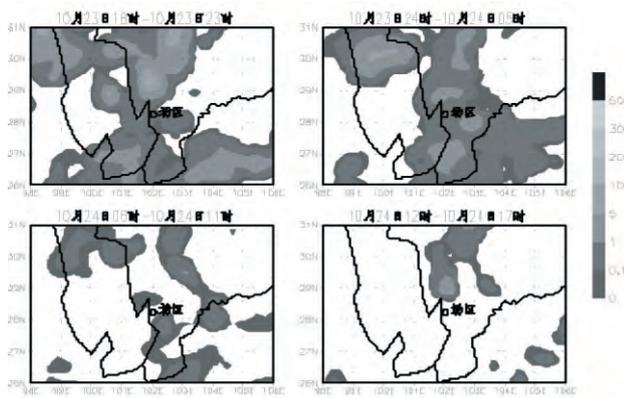


图 1 发射场区域降水量数值预报

区。从地面形势来看(图略),场区北侧 30° N 附近的三江源地区为弱的正变压,表明有弱冷空气渗透影响场区。

这种高低空不稳定形势的配合,预示场区将受高原波动配合弱冷空气共同影响,极易发生对流性降水。此外,23日 08 时的各类不稳定能量指标也显示场区处于不稳定区域内(单站 K 指数为 37, KY 指数为 3, SI 指数为 -2),另外,场区上空的垂直风在 3000 m 左右存在明显弱风切变,均有利于雷暴的发生。

3.2 卫星云图及雷达回波分析

23 日下午 17 时,综合分析卫星云图资料及雷达回波资料发现,30° N 附近因高原波动形成的对流云发展明显,但该云团以东移为主,南下分量不明显;场区西侧有弱对流云生成东移,即将影响场区。从西昌风箱口雷达回波可以看出,场区西侧、西南侧 30km 左右处降水回波明显,其中还有反射率 35dbz 左右的较强对流出现,并且在 23 日 16:04,场区西北侧已经出现了短暂的弱雷暴活动。

因此在未来 8 小时,主要考虑场区西侧对流云团带来的雷暴降水天气,分析该云团的面积大小、移动速度和方向等因素,预计场区雷暴将在 24 时前结束,发射窗口最多有零星小雨。

3.3 闪电情况分析

分析 10 月 23 日 16~17 时的闪电定位信息发现:闪电主体主要集中在场区西侧、西南侧的木里县,场区南侧的盐源县、普格县也有弱的闪电发生。闪电定位的分布与 17 时的卫星云图及雷达回波对应得较好,反映出即将给场区带来闪电活动的主要是场区西侧的对流云团。并且在场区 8 km 左右的范围内也探测到了弱的闪电活动,在 16 时左右场区观测到了弱雷暴活动。

综合以上分析,未来 8 小时受西侧对流云团影响,有一次雷雨过程影响场区。按照云团移速外

推,雷暴将在 24 时之前结束,24 时以后对流性降水显著减弱。

4 物理量诊断分析

4.1 环流背景场分析

降水过程基本都是在有利的大尺度环流背景下产生的,场区此次降水过程也不例外。图 2 给出的是场区此次降水过程前后 500 hPa 位势高度场、风场以及温度场的叠加图。从图中可以看出,在主体降水发生前期(23 日 08 时,图 2a),场区受高原弱波动的影响;到 23 日 14 时(图 2b),在场区偏西南方向逐渐形成西风槽,存在明显的风切变,这有利于槽后的冷空气影响场区,从温度场分布来看,场区附近的温度槽有加深的趋势,但该系统对场区影响不大,到 23 日 20 时(图 2c),即降水开始时,该西风槽减弱拉平,与此同时,在场区偏西方向形成另一西风槽,场区处于槽前位置,受偏西北冷空气影响,场区几乎处于温度槽的底部,温度明显降低,受此系统影响,场区开始出现连续性降水,最大降水量出现在 23 日 22 时,为 6.9 mm;到 24 日 02 时(图 2d),该系统明显减弱,与之相对应,场区降水停止。

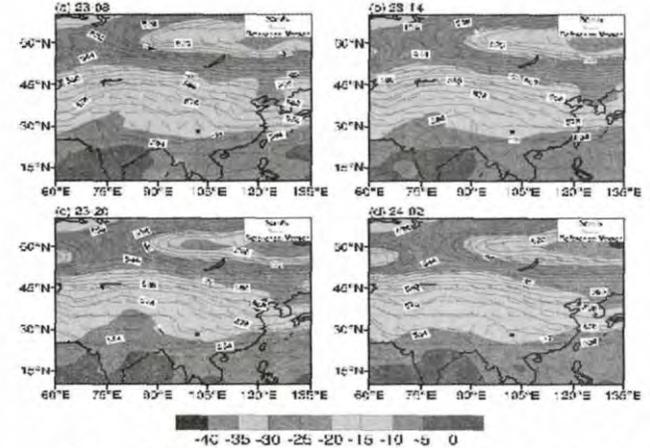


图 2 500hPa 位势高度场(黑实线,单位:10 gpm)、风场(风羽,单位:m/s)及温度场(阴影,单位:° C)分布 (a)23 日 08 时;(b)23 日 14 时;(c)23 日 20 时;(d)24 日 02 时

4.2 水汽条件分析

充足的水汽来源是降水产生的重要条件之一。许多研究指出,降水过程与水汽输送存在密切联系。图 3 给出的是 23 日 08 时至 24 日 02 时 4 个时次的 700 hPa 水汽通量及其散度场分布。从图中可以看出,在降水发生之前(23 日 08 时至 14 时,图 3a 和 3b),场区位置有来自于孟加拉湾和南海的水汽,但没有水汽辐合,这不利于降水的产生。降水开始时(23 日 20 时,图 3c),来自于孟加拉湾和南海的水汽依然存在,但场区位置开始出现水汽通量辐合,这导致场区开始出现降水,水汽通量辐合的最大中

心出现在场区西北侧。随后,该中心逐渐向东移动并经过场区,这为场区的连续性降水提供了充足的水汽条件。到 24 日 02 时,场区附近的水汽通量由辐合转为辐散,降水停止。

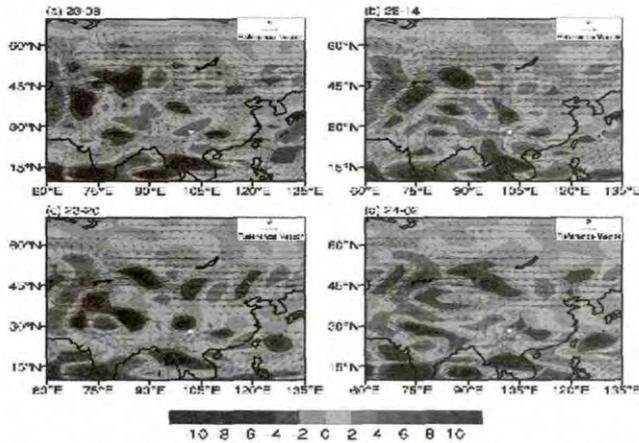


图 3 700hPa 水汽通量(矢量箭头,单位: $g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)及其散度场(阴影,单位: $10^{-5}g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)分布 (a)23 日 08 时;(b)23 日 14 时;(c)23 日 20 时;(d)24 日 02 时

4.3 动力和热力条件分析

降水的发生离不开一定的上升运动以及冷暖空间的辐合交汇。因此对垂直速度场和假相当位温场进行分析。图 4 给出的是沿 $28^{\circ}N$ 经场区位置的垂直速度场的纬向剖面图。从图中可以看出,在降水发生前期(23 日 08 时至 14 时,图 4a 和 4b),场区附近的上升运动逐渐加强;到 23 日 20 时(图 4c),场区上空依然处于上升运动控制,配合较好的水汽条件,导致场区开始产生降水。到 24 日 02 时,场区上空的上升运动明显减弱,表明降水产生的动力条件明显减弱,不利于降水的产生。从假相当位温场可

看出,在降水发生前期(23 日 08 时至 14 时,图 4a 和 4b),场区上空的假相当位温逐渐增大,表明不稳定层结增厚,暖湿空气被持续抬高,到降水发生时(23 日 20 时,图 4c),场区上空的假相当位温依然较大,表明其不稳定层结依然偏厚,有利于降水的产生。到 24 日 02 时,场区上空的假相当位温明显减弱,表示不稳定层结变薄,不利于降水的产生。

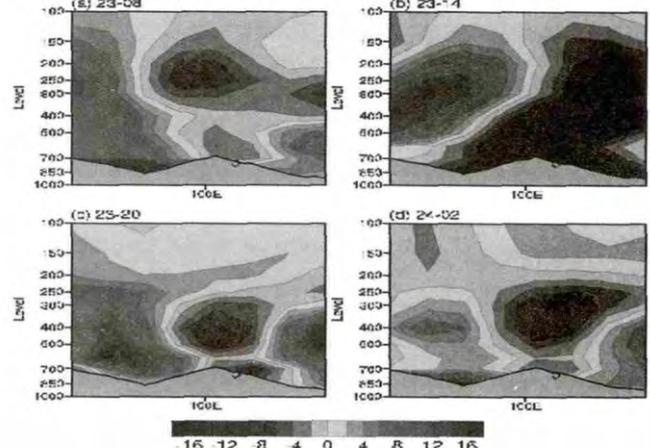


图 4 沿 $28^{\circ}N$ 的垂直速度(单位: $Pa \cdot s^{-1}$)的纬向垂直剖面

(a)23 日 08 时;(b)23 日 14 时;(c)23 日 20 时;(d)24 日 02 时。灰色区域表示地形

5 结束语

此次发射任务气象保障获得圆满成功,主要取决于发射中心气象系统任务专题研究深入细致,探测数据收集及时完整,数值预报产品解释应用全面,实战化训练扎实有效,风险管控有效,各专业大力协同,天气会商求真务实,天气决策民主科学,是一次经典的、成功的航天气象保障个例,可为后续高密度航天试验任务提供有力借鉴。

注释及参考文献:

- [1] 余晓洁,杨维汉.中国探月工程三期再入返回飞行试验器发射成功[EB/OL].新华网,http://news.xinhuanet.com/tech/2014-10/24/c_127134550,2014 10 24.
- [2] 张素,蔡金曼.中国探月工程三期再入返回飞行试验获得圆满成功[EB/OL].中国新闻网,htm http://news.xinhuanet.com/tech/2014-11/01/c_1113070149.htm,2014-11-01.
- [3] 罗慧,李良序.气象服务效益评估方法与应用[M].北京:气象出版社,2009.
- [4] 马鹤年等.气象服务学基础[M].北京:气象出版社,2008.

Analysis of Meteorological Support to the Launch of Chang'e-5 Orbiter during a Thunderstorm Process

JIANG Xiao-hua, DANG Jian-tao, LI Gang, LIU Chen-zhao, YANG Cha
(Xichang Satellite Launch Center, Xichang, Sichuan 615000)

Abstract: The 8-hour meteorological support before the launch of Chang'e-5 orbiter during a thunderstorm

(下转第 34 页)

- [2] 兰秀蔚.大型发电机集电环故障分析处理及对策[J].华北电力技术,2012(10):47-51.
- [3] 耿素龙,王晓阳.简谈金属的电化学腐蚀与防腐[J].金田,2012(5):305.
- [4] 史家燕,史源素,赵肖敏,等.三峡水力发电厂700MW水轮发电机故障诊断专家系统[J].中国电力,2006(1):63-67.
- [5] 邱盛永,吴庆国,庞世秋.发电机集电环故障的分析及检修[J].煤炭技术,2004(5):31-32.

Analysis of the Collector Ring's Wear of the Hydro-generator in Daqiao Power Plant

CHE Jiu-hua, LIU Jian-gang

(*Daqiao Power Plant, Daqiao Hydroelectric Development Corporation, Mianning, Sichuan 615600*)

Abstract: Having run for ten years, the outer diameter of hydro-generator collector ring reduced more than two centimeters, the wear of negative slip ring was more serious than that of the positive slip ring, and, the wastage of the anode carbon brush was more quickly than that of the cathode carbon brush. Under the effect of direct current, the galvanic cell's anode material was oxidized because of lost electrons and changes into ions from elementary substance, however, the cathode material is restored because of getting electronic and still exists as elemental, this is called the Corrosive Cell Principle. Using this feature, the cathode materials can be protected.

Key words: hydro-generator; collecting ring; carbon brushes; wear

(上接第 31 页)

process is introduced briefly. However, the rainfall variability, thunderstorm forecast and some other physical variables are analyzed in detail. The results show that: the weather forecast for the launch window is accurate, timely and reliable. This weather forecast is a successful meteorological support for space activities, and also provide a basis for the decision-making in the successful launch of Chang'e-5 orbiter. According to the above results, it will provide reference for the meteorological support for the forthcoming high density space activities.

Key words: launching area; launch; thunderstorm; rain; meteorological support