

“嫦娥二号”发射高风险气象保障分析

江晓华,汪正林,党建涛,裴军林,刘伟,张峻

(西昌卫星发射中心,四川 西昌 615000)

【摘要】通过对“嫦娥二号”探月卫星发射任务西昌发射场气候背景、气象保障的难点、保障风险等进行了分析,阐述了发射日气象保障历程,研究发现发射日出现的冷空气影响场区的天气过程主要出现在“发射窗口”之后,为任务成功提供了至关重要的决策依据。结果表明,航天气象保障具有高风险性,需要加大对气象信息的研究力度,完善应对预案,提高气象风险决策能力。

【关键词】发射;场区;气象保障;风险

【中图分类号】V555.21 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2010)04-0063-06

1 引言

北京时间2010年10月1日18时59分57秒,长征三号丙火箭携“嫦娥二号”探月卫星从发射塔架上呼啸而起,冲破雨雾直入云霄,直接奔向38万公里外的月球轨道。“嫦娥二号”发射再次完美演绎了“零窗口”,是西昌卫星发射中心组建以来执行的第60次航天发射任务,在发射中心的历史上写下了浓墨重彩的一笔。

“嫦娥二号”探月卫星是我国绕月探测工程二期的首颗卫星,将为验证深空测控体制、月面软着陆部分关键技术等方面积累经验,意义十分重大。而发射窗口只有10月1~3日3天,并且,为了保证入轨精度,提高卫星的使用寿命,此次任务要求“零窗口”发射,当任务五大系统以最佳状态等待发射时,发射场的天气成了唯一的悬念,在雷暴频发、局部天气多变的西昌发射场,能否实现“零窗口”发射,天气因素至关重要,这对场区气象预报的时效性和准确性提出了更高的要求。

2010年10月1日,西昌发射场面临着一次北方冷空气明显南下影响场区的天气过程。天气过程到底是“发射窗口”前还是“窗口”后影响场区?影响强度到底有多大?“发射窗口”时天气如何?这是气象系统需要向任务指挥部明确回答的问题。气象系统通过对各类气象信息的综合分析,对发射窗口的雷电、降水、云量、温度、露点、相对湿度、大气电场、地面风和高空风等气象要素进行了精准、细致的预报,圆满完成了气象保障任务,为“嫦娥二号”发射任务做出了贡献。

2 任务月气候背景及气象保障难点

影响航天发射的主要气象因素是场区的雷电活动、强降水、地面大风和高空大风。针对“嫦娥二号”任务“零窗口”和发射最低气象条件的要求,发

射中心气象系统开展深入、细致的任务月气候背景和气象保障研究。其难点是研究雷电和降水活动规律,重点是提高雷电和降水预报的准确率。

2.1 气候特点

“嫦娥二号”探月卫星计划于2010年10月初组织发射。10月初西昌发射场区属雨季后期,副热带高压开始南退,中、高纬度西风带迅速加强,冷空气活动频繁,孟加拉湾云系活跃,西南准静止锋开始建立并维持。场区天气相比雨季盛期而言,雨量总体减少,连阴雨过程增多,时有暴雨发生,雷电活动总体减缓但变化多端。

2.2 预定发射日主要气象要素气候分析

任务预定于10月1~3日择机发射,首先瞄准1日的“发射窗口”前沿,即“零窗口”——10月1日18时59分57秒。气象系统认真制作《“嫦娥二号”发射任务气象系统专题研讨报告》。下面是场区主要气象要素气候分析结果:

(1)历年10月1日,阴天概率为75%,晴天概率为6.2%,平均气温为16.7℃,平均露点温度为13.6℃,平均相对湿度为83.3%,降水概率为44.4%,最大日降水量14.1mm,雷电概率8.3%,地面风速平均为1.7m/s,高空最大风平均为22.0m/s,高度平均为10084m,风向平均255.0°。

(2)历年10月1日19时场区平均气温为19.6℃,平均露点温度为14.6℃,平均相对湿度为73.6%,降水概率7.7%,平均降水量0.3mm,平均地面风速1.7m/s,风向228.5°。

(3)历年10月1日11~19时,场区没有出现过雷暴;共出现降水12日,降水概率33.3%,持续时间最长为9个小时,最短为1个小时。伴随累计雨量最大为9.1mm,最大小时雨量为2.0mm。

(4)以10月1日为中心,前后5天,日平均气温

收稿日期:2010-10-16

作者简介:江晓华(1965-),男,西昌卫星发射中心高级工程师,研究方向:航天气象保障。

变化不大,平均为 16.7℃;雷暴概率最低为 3.1%,最高为 18.8%,平均为 9.7%;降水概率最低为 62.5%,最高为 84.4%,平均为 72.7%;高空平均最大风速最大为 28m/s,最小为 19m/s,平均为 22.8m/s。

3 任务气象保障主要风险分析及对策

依据发射中心《质量、环境、职业健康安全一体化管理体系》文件中任务“五零”目标要求,气象系统努力实现数据采集准确、资料分析全面、天气预报客观、提交信息及时的质量目标。确保产品转

场、第三次总检查(全区合练)、加注、发射等重要节点、关键过程天气预报准确,没有因气象保障失误影响任务进程的事件发生。

根据“嫦娥二号”卫星任务对气象保障的要求,结合气象保障流程和场区气候特点,按照风险概率判据、风险后果判据、风险等级进行分析,气象系统在人员、设备、技术和危险源等方面存在风险因素主要有 5 项(见表 1)。其中 1 项高风险,2 项中风险,2 项低风险。

表 1 “嫦娥二号”任务气象保障风险分析统计表

序号	风险名称	发生概率	造成的后果	风险等级
1	重要节点、关键过程场区出现强对流天气的保障风险	可能发生	①影响指挥部领导决策;②影响到任务计划的顺利实施,使任务进度发生变化,造成任务推迟;③影响任务成败,使质量目标无法实现。	高
2	参试设备存在的风险	可能发生	①影响气象数据的收集、传输;②导致气象网络中断;③影响任务保障效果。	中
3	参试人员存在的风险	可能发生	①影响任务保障过程中技术操作的准确性和资料提交的及时性;②发生误操作、误动作,影响本系统工作效率和质量;③导致工作不能按计划落实;④应急处理、故障排除不及时,影响任务的气象保障效果。	中
4	风险分析不到位的风险	不大可能发生	①风险分析不到位,出现新的风险或风险升级;②缺乏有效的应对措施,导致风险处置不及时,或引起风险后果扩大,严重时影响任务保障的顺利实施。	低
5	气象危险源	不大可能发生	①可能引发设备故障;②严重时出现系统级问题。	低

发射中心气象系统针对风险分析,采取的预防措施及风险监控预案主要有:

(1)任务前做好应急预案和任务专题技术准备。认真开展任务预报模拟演练,提高气象保障实战能力和提升复杂天气气象综合保障能力。如果天气预报出现偏差和失误时,现场保障组及时做好预报订正工作,为任务指挥部提供决策依据。

(2)任务过程中加强场区观、探测,做好危险天气监测;预报员和地面观测人员到场坪密切监视天气变化,便携式和多普勒天气雷达要至少保证一部不间断开机,并充分利用凉山州气象局的雷达资料,密切监测对流云系的发展。

(3)加强与地方气象部门的信息沟通和天气会商,重点是危险天气的实况、天气雷达及预报信息的沟通。

(4)做好气象参试设备的日常维护保养工作。任务中开展经常性检查,筹措必要的备品备件,及时抢修各类设备,确保参试设备状态良好。重点对防雷设施、气象网络和大型装备进行检查。及时组织开展任务网病毒统一查杀工作,防止病毒侵害。

(5)加强思想动员,教育参试人员牢固树立忧患意识、使命意识和责任意识,始终保持清醒头脑,时刻保持低调谨慎的作风,从零开始,严谨细实地做好各项工作。

(6)合理安排岗位,对重要岗位做好人员双岗配置,新老搭配。认真分析所属岗位的薄弱环节,强化业务训练的主体责任,依据气象业务法规,按纲施训。经常检查各类记录,随时掌握岗位人员状态,必要时可更换岗位人员。

(7)认真梳理和总结以前任务中曾经出现过的风险,举一反三,制定有效的应对措施。并对已辨识的风险加强过程监控,监测其动态变化趋势,对出现的新风险以及风险的升级予以高度关注,及时进行风险的再分析,采取有效的应对措施。

4 任务气象保障

4.1 发射日中期预报

9月27日下午,国家探月工程领导小组成员和“嫦娥二号”任务指挥部领导在场区远控楼气象会商间听取了笔者(气象发言人)关于预定发射日的场区中期天气分析及预报的汇报。

依据欧洲中心数值天气预报分析,9月30日20时,500hPa高空图上河套至三江源一带出现低压槽,槽底位于川西高原西侧 30° N以北地区,场区为西偏南气流。10月1日20时,北支槽东移至 110° E附近,场区北侧高度场明显抬高,为弱脊形势,冷空气将以东北绕流形式从四川盆地倒灌影响场区。

分析500hPa风场预告发现,30日20时,场区为 260° 左右的西偏南风场,河套至康定之间存在明显风切变(配合北支槽),切变主体在 30° N~ 40° N之间,1日20时,风场切变东移至山西至四川盆地南侧之间,切变主体仍在 30° N以北。

分析700hPa风场预告发现,30日20时,河套至四川九龙县间存在弱风场切变,场区为西南风。1日20时,风切变东南移,移至武汉至攀枝花一线,压过场区,场区转为东南风,四川盆地转为东北风。

分析24小时地面变压预告发现,30日20时,场区附近地区为负变压区($-3\sim-5$ hPa),来自西伯利亚地区的地面冷空气东南移,河西走廊至三江源地带为正变压区,中心位于三江源附近为 $+10$ hPa。1日20时地面正变压区移至四川全省及以北地区,场区为 $+4$ hPa加压,场区东北侧中心区域加压 $+7$ hPa。

分析850hPa24小时变温场预告发现,30日20时,场区为 $1\sim 2^{\circ}$ C的正变温区,负变温区位于场区西北的河西走廊至三江源一带。1日20时,场区降温 $-1\sim-2^{\circ}$ C左右,四川地区降温较弱,场区东侧降温中心为 -4° C。

700hPa相对湿度预告分析表明,30日20时,场区700hPa相对湿度为81%左右,主要湿区位于场区偏东北地带。1日20时,场区700hPa相对湿度升高为87%左右,主要湿区位于场区及偏东地区,湿度条件明显改善,有利于降水出现。

综合上述中期数值预告信息可以发现,9月30日夜间开始至10月1日有一次北方冷空气影响四川地区的天气过程,将伴有降水出现,至于1日预定发射日“发射窗口”之前是否有降水,只能进入短期预报时效才能更明确地确定。雷电活动也只有短期、短小时内才能准确提供预报。因此,笔者向指挥部领导汇报了10月1日前后的天气趋势,预报场区1日阴间多云有小雨,高空风较小,无地面大风,关注雷电活动。

4.2 指挥部会议上的天气汇报

9月29日下午场区召开任务第二次指挥部会议,正式确定任务发射计划。

与9月27日气象信息相比,形势场和要素场的数值预告基本一致。只是700hPa相对湿度预告略

有变化。29日预告1日20时,场区700hPa相对湿度调整升高为92%左右,表明湿度条件更有明显改善,有利于降水出现。天气过程仍然维持在10月1日左右出现。

综合29日气象信息,在指挥部会议上,气象系统发布预报:

9月30日夜间至10月2日场区受地面冷空气影响,有一次降温降水天气过程;10月3日,场区以多云天气为主。预计10月1日发射窗口天气:7~10成低云,气温 $15\sim 17^{\circ}$ C,露点 $14\sim 16^{\circ}$ C,相对湿度80~95%,无雷电,小雨,西北风 $1\sim 3$ m/s,高空风最大风速 20 ± 5 m/s,风向 $280\pm 5^{\circ}$,高度 10000 ± 1000 m。预计10月1日发射窗口满足最低气象条件。

依据气象系统的预报,发射指挥部决定,瞄准10月1日窗口前沿,实施“零窗口”发射计划。

4.3 10月1日10:30射前-8小时天气汇报

场区9月28、29、30日分别出现雷雨或阵雨天气,发射场各大系统全部准备完毕,能否按计划于10月1日“零窗口”发射,“万事俱备,只欠东风”,气象条件成了制约任务的关键的因素。为此,指挥部决定,10月1日10:30最后听取一次正式气象汇报,以决定是否按时加注低温液氧液氢燃料,以及在10月1日“零窗口”发射与否。经过进行充分的天气会商,笔者向指挥部汇报内容主要如下:

1日08时资料分析发现,500hPa高空槽已经位于河套南侧至川西高原一带,未来将直接东南移影响场区,槽后配合有 -2° C左右的降温区,西昌站(56571)西风 16 m/s;700hPa高空在康定至九龙县一带有弱切变,西昌站(56571)西南风 12 m/s;地面图场区东部有大片降水区,西侧为多云到少云区;高空500~850hPa引导气流本区为西南气流。

08时T-logP图分析表明,700~500hPa层有弱不稳定层;场区风廓线雷达探测表明,07时以前场区上空无明显垂直风切变,08时开始在2800~3500m左右开始出现高空西北风与西南风的垂直风切变;场区09时高空雷达测风表明,场区2000~3000m左右存在西北风与西南风的垂直风切变;分析08时高空700~500hPa大气能量差图发现,表征高空不稳定区域的负能量差区域位于川西南地带,场区位于负中心区,中心强度为 -6.7 ;此段分析表明场区夜间出现雷雨概率非常大,但不能由此判定出现时间。

1日20时欧洲数值预告资料分析发现,地面变压场正变压位于 28° N以北地区,表明地面冷空气

将在20时以后影响场区;24小时的850hPa变温场在场区附近变温不明显,降温明显的区域位于河套及以北地区;700hPa相对湿度本站为87%左右,湿区主要位于场区偏东北和东部地区;200hPa本站高空风为22m/s,280°方向。

上午10时,天气雷达探测场区100km内无回波;卫星云图上,场区周围为低云覆盖,西侧上游地区有少量的晴空区;地面电场探测值稳定在-300v/m左右;闪电定位探测100km内无闪电。

由上述气象信息判断,1日傍晚至夜间将有一次冷空气影响过程,伴随有雷电出现。此时,问题

的焦点在于准确判断雷雨天气出现的时间,到底是“发射窗口”前,还是在“发射窗口”后!

为了判断天气过程的起始时间,我们分析如下:研究场区历史资料发现,历史上10月1日影响场区的降水天气绝大部分在20时以后影响,10月1日11~19时从未出现雷电活动,都是出现在20时以后。为了精确分析,发射中心气象系统利用MM5和WRF两种数值模式,进行了区域精细化数值计算,得出了场区未来48小时降水的精细预报,见表2、表3所示(为节省空间只列出1日12时~2日05时数据)。

表2 发射场区MM5模式逐时降水预报(1日08时发布)

时次	12	13	14	15	16	17	18	19	20
降水量(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4
时次	21	22	23	24	01	02	03	04	05
降水量(mm)	1.0	1.7	1.7	1.8	1.1	0.2	0.1	0.1	0.2

表3 发射场区WRF模式逐时降水预报(1日08时发布,每3小时预报)

时次	12	13	14	15	16	17	18	19	20
降水量(mm)		0			0			0.3	
时次	21	22	23	24	01	02	03	04	05
降水量(mm)		3.8			1.1			0.1	

两种数值模式分析表明,场区19时左右只有小阵雨或零星小雨,主要明显降水均出现在21时之后。由此判断,“发射窗口”之前将出现小阵雨或零星小雨,窗口后将出现中雨以上的降水。

综上所述,气象系统发布射前-8小时天气预报:阴天,气温18~22℃,相对湿度80%~95%,露点15~17℃,西南风1~3m/s15时转西北风1~3m/s,地面电场<1000v/m,11~15时,无天气现象,15~20时,小雨。

预计发射窗口:7~10成低云,气温16~18℃,露点14~16℃,相对湿度80%~95%,无雷电,小雨,西北风1~3m/s,高空风最大风速20±5m/s,风向280±5°,高度10000±1000m。

任务指挥部听取了气象汇报后,正式决定任务按计划实施低温燃料加注,瞄准1日发射窗口前沿发射。要求气象系统严密监视场区天气变化,重点是窗口前的雷电活动和降水情况。

与此同时,中央电视台、新华社、人民网等国内主要媒体也及时转发了场区8小时天气预报。

4.4 射前-1小时气象保障

场区11~17时,天空稳定,阴天,无降水,无雷电活动。

17时以后,场区上空云层加厚,天气雷达等加

密探测,监视场区附近天气变化。

红外云图分析可见,16时以前,场区位于西南准静止锋云系西侧边缘,云系稳定少变,以低云为主。17:01云图显示,在场区西北方向的九龙县出现对流小单体云团,30°N以北则是中尺度范围的对流云系,到了18:01,九龙小单体缓慢东移,北部中尺度对流云系东移南压至29.5°N左右,19:01九龙对流小单体仍在29°N左右,即位于场区北部约100km。从云图演变可见,射前1小时,场区西北及北部出现对流单体,但主体在场区以北,没有直接影响场区的可能。

17:56始从天气雷达探测可发现,场区西侧10km出现小尺度的弱回波,逐步加强东移,将影响场区,回波强度较弱,为15~35dbz,强度高显回波(图1所示)显示,回波狭窄,且顶高不超过6km,因此,将在短小时内造成场区出现小阵雨。由于回波顶高不高,因此不会出现明显雷暴天气。18:10,弱回波移至场区上空,尺度仍然很小,直径约6~8km左右,场区于18:20开始出现小阵雨。另外,场区西北方向70~80km出现中尺度的较强降水回波(15~40dbz),移动以东移为主,由于距离尚远,1小时内不会移到场区,可以排除其窗口期间影响场区。

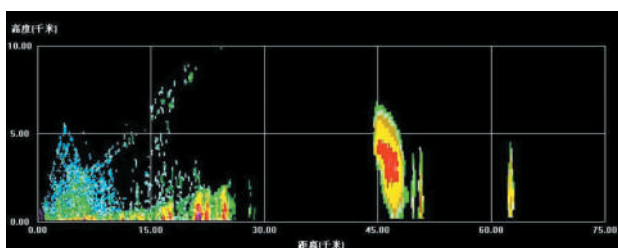


图1 18:17场区双偏振天气雷达高显探测图

场区周围100km内闪电探测情况(图2所示)主要是:18:12探测到首次闪电,而且半小时内陆续在场区西北、正北、东北方向50~80km内的九龙、冕宁、石棉、越西县出现数十个闪电,18:39:54场区南侧14.21km探测到一次闪电,强度-4.4kA;19:41:51场区西侧23.75km处探测到一次闪电,强度-5kA。40km内射前只探测2个闪电,8km内射前一直未探测到定位闪电。



图2 射前15h~19h场区附近闪电定位探测图

场区地面电场一直稳定,没有明显跃升。

指挥部领导18:28来电话询问天气变化情况。笔者报告,天气正如上午预计那么样,射前出现小阵雨,对流单体主体较弱,平显回波强度为15~35dbz,场区上空只有15~30dbz,高显顶高6000m以下,闪电主体位于场区北侧50~80km,40km内只有个别闪电出现在10km以外,预计场区发射窗口有零星小雨,8km内不会出现雷电活动,不会影响发射。

因此,面对射前半小时左右的小阵雨,气象系统通过再次分析,判断得出发射窗口满足发射气象

注释及参考文献:

[1]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.

[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(3):68-72.

最低条件,不会影响发射的结论。此结论于射前半小时再次在CCTV-4“嫦娥二号”专题现场直播节目中公布。

场区实况是:18:20~18:53出现小阵雨;20:30~01:20出现闪电;20:31~22:09、22:10~22:45、23:25~01:20出现雷暴;20:18~01:11,降水量24.1mm。预报与实况一致。

“嫦娥二号”于“零窗口”——18:59:57准时发射升空,气象保障取得圆满成功!

5 结论与讨论

5.1 10月1日的天气过程是一次典型的高空低压槽配合地面冷空气南下影响场区的雷雨天气过程;

5.2 发射中心气象部门准确地判断出雷雨天气过程在“嫦娥二号”发射窗口之后影响场区,发射窗口天气满足最低气象条件,气象保障取得圆满成功。

5.3 对天气系统移动速度的判断是一项高风险的工作,尤其是在发射前-8h~-48h判断场区发射窗口的天气更是风险极大。气象保障决策者要勇于负责,不能回避难题,必须充分做好风险分析,持续完善风险预案。

5.4 在航天气象保障中,面对可能出现的高风险天气,预报人员要充分收集各类气象信息,分析气象保障的主要矛盾和次要矛盾,加强天气会商,针对局地天气采取“逐步逼近”和“分时、分段、精细、准确”的预报原则,才能有效提高气象保障效果。

5.5 气象决策者需要不断总结经验教训,领会发射指挥员的意图,持续加强心理素质训练,临危不乱,减少和避免外界的干扰,努力运用先进的气象科研、训练成果,才能不断提升决策把关能力。

6 结束语

“嫦娥二号”探月卫星发射日场区遭遇了一次典型的雷雨天气过程,发射中心气象系统准确判断出雷雨天气过程主要在发射窗口之后影响场区,发射窗口满足发射最低气象条件,为“嫦娥二号”在“零窗口”成功发射做出了贡献。

Analysis on Meteorological Support when Launching Chang E II with High Risk

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

Abstract: After analyzing the climate background, weather support difficulties, and support risks in Xichang when launching Chang E II, this paper described the meteorological support progress on that day. It found that the cold air which will work on the launching field appears after the “launch window”, which provides a vital basis for the launching decision making. The results show that the meteorological support for spaceflight bears high risk. So we should increase research efforts on the meteorological information, and improve its contingency plan and decision-making on weather risk.

Key words: Launch; Area; Meteorological support; Risk

(上接47页)

- [2]刘建林, 孟秀祥, 冯金朝. 四川攀西种子植物[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [3]中国科学院植物研究所主编. 中国高等植物图鉴(第1-5册)[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [4]杨红. 四川邛海湖湿地水生维管植物的现状调查[J]. 基因组学与应用生物学, 2009, 28(5): 946-950.
- [5]杨红. 邛海湿地树木资源现状调查与分析[J]. 西昌学院学报, 2009(4): 12-15.
- [6]杨红. 邛海湿地外来入侵物种现状调查及对邛海湿地的影响[J]. 绵阳师范学院学报, 2009(11): 58-62.

Current Situation and Ecosystem Evaluation of the Qionghai Lake Wetland

ZHANG Yu, YANG Hong

(Xichang College, Xichang, Sichuan 615013)

Abstract: Based on the preliminary investigation of the plant species in Qionghai Lake wetland and the international definition of wetland which is most comprehensive and widely influential, the paper divide the Qionghai Lake wetland into three categories and five types of wetland ecosystem.

Key words: Qionghai Lake; Wetland; Ecosystem