

# 美国航天飞机返回气象保障模式研究

陈书驰<sup>1</sup> 张向荣<sup>1</sup> 何武贵<sup>2</sup>

(1.北京航天飞行控制中心 2.总装司令部)

**摘要** 讨论美国航天飞机返回气象保障模式,包括:气象保障机构及分工、返回着陆模式、飞行气象准则,以及发射前、在轨段、再入(着陆)段的返回气象保障实施方法等,为我国未来载人航天工程气象保障的发展和完善提供参考。

**关键词** 航天飞机 返回着陆 气象保障 飞行气象准则

**中图分类号** V555\*2 **文献标识码** A **文章编号** 1674-5825 (2009) 03-0054-05

## 1 引言

美国作为航天技术发达国家,是最早开展载人航天活动的国家之一,其活动规模和技术水平均居世界前列,更是唯一开展航天飞机工程的国家。与传统的天气预报业务相比,航天飞机气象保障相当复杂且专业性更强,发射和返回着陆窗口以及气象条件的限制更为严格,而且需要周密的计划和广泛协作。美国航天飞机发射和返回气象保障已积累了近 30 年的经验,近几年航天飞行试验频度更可达到每年 40 余次,气象保障经历了各种复杂天气条件的考验,在实战中总结出了完善的航天飞机返回气象保障模式。

因此研究美国航天飞机返回气象保障组织实施方式、保障模式、气象条件和辅助决策方式等,并借鉴其先进经验,对于提高我国未来载人航天工程气象综合保障能力、完善协调机制,具有重要意义。

## 2 气象保障机构及分工

美国航天飞机气象保障主要由航天飞行气象组(SMG)和美国空军第 45 气象中队共同完成,其中 SMG 隶属美国国家气象局,位于德克萨斯州休斯顿市的约翰逊航天中心,承担航天飞机所有着陆场的预报任务,同时作为约翰逊航天中心任务控制中心

飞行控制组的内部成员,直接为约翰逊航天中心飞行主任和飞控组提供保障,包括发布各种天气预报和天气简报,提供所有着陆场地面和高空大气参数观测实况和预报结果等,预报范围从微尺度到全球尺度;第 45 气象中队位于帕特里克空军基地,提供整个东靶场所有导弹和航天飞行发射任务的气象保障,特别是肯尼迪航天中心的航天飞机发射前、发射时和发射后气象保障,涵盖从航天器测试厂房到垂直总装厂房,再转运到发射平台,发射时运载火箭准备、固体火箭推进器回收和着陆后的气象保障全过程,每周 7 天、每天 24 小时提供闪电、大风、危险天气、低温、冰雹等各种天气现象和气象要素的监测和警报等。

航天飞机从肯尼迪航天中心发射工位升空之后,对航天飞机的指挥控制迅速转移到约翰逊航天中心的任务控制中心,所有在轨飞行和着陆决策都是由约翰逊航天中心飞行主任领导下的飞控组做出的。

返回着陆气象保障中最关键的环节是着陆前发布的“90min 预报”,它是任务控制中心作出变轨点火决策的依据。变轨点火一旦执行,航天飞机就必须在预定时间降落到预设着陆场,因此预报结论必须精准,并清晰地传达给决策者。

## 3 航天飞机返回模式

美国航天飞机返回有几种返回着陆模式,各模

式对应不同的着陆场,主要有美国本土主着陆场、应急着陆场和海外应急着陆场(见图 1 所示)。

各返回模式及对应着陆场如下:

(1)发射场返回模式(RTLS),为应急返回模式,若航天飞机在上升段 3min 内便遇到重大故障时,需采用该模式,此时要求航天飞机转弯、下降,然后降落在肯尼迪航天中心的航天飞机着陆场(在发射台西面 5.5km 左右),一般发射后 25min 可以着陆。

(2)海外应急返回模式(TAL),若航天飞机在发射后 3~8min 内遇到重大问题时,需采用该模式。此时航天飞机下降并降落在预先设定的海外应急返回着陆场,如西班牙的 Zaragoza, Moron, 摩洛哥的 Ben Guerir 或刚比亚的 Banjul,一般发射后 35min 可以着

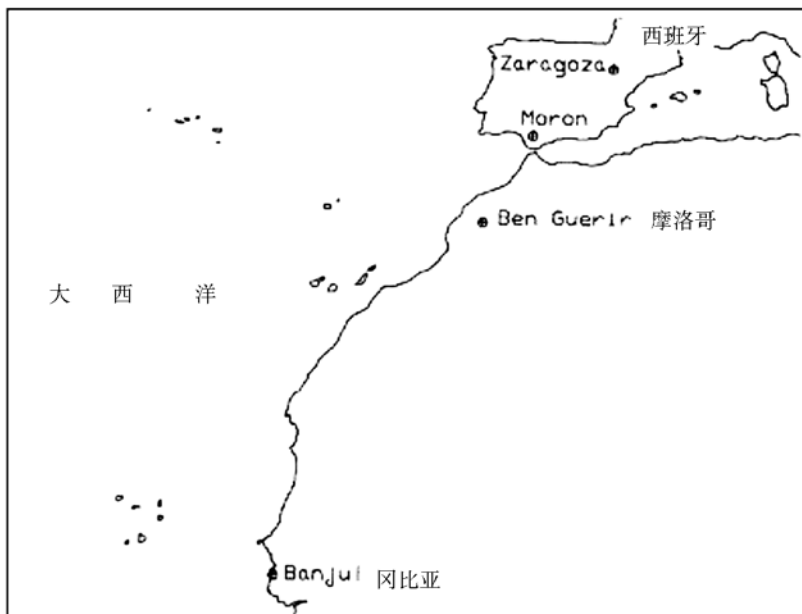
陆。

(3)第一圈返回模式(AOA),为应急返回模式,当航天飞机出现重大故障时,由飞行主任指挥实施第一圈返回模式,一般发射后 105min 左右,航天飞机可降落在美国本土着陆场:肯尼迪航天中心(KSC)、爱德华兹空军基地(EDW)或白沙航天港(WSSH)。

(4)第一天主着陆场返回模式(1st day PLS),为应急返回模式,当航天飞机出现重大故障时,由飞行主任指挥实施,该模式出现在飞行第 3~7 圈,或者发射后 3~10h 内,取决于飞行轨道倾角和可用的着陆机会,着陆场有肯尼迪航天中心、爱德华兹空军基地或白沙航天港。



(a)美国本土主着陆场及应急返回着陆场



(b)海外应急返回着陆场

图 1 美国航天飞机着陆场

(5)任务结束正常返回模式(EOM)。是按计划完成在轨飞行任务后,航天飞机的正常返回着陆模式,运行时间为 7~16 天,该模式优先选择的着陆场是肯尼迪航天中心,备选着陆场为爱德华兹空军基地和白沙航天港。

#### 4 航天飞机(着陆)飞行气象准则

航天飞机着陆飞行气象准则是保证航天飞机返回安全的气象限制条件,准则考虑了限制条件的可操作性、返回航线斜向下方的能见度、绝热瓷砖损坏,以及闪电和触发闪电等多方面因素。根据对美国 1991~1995 年间 30 次任务的研究表明:进入发射和着陆倒计时期间(即 6h 前),80%的任务遇到与着陆飞行气象准则相违背的情况,表明气象条件对航天飞机发射和着陆影响重大,往往是航天飞机发射和着陆决策的重要依据。

航天飞机发射时,要求 RTLS 返回模式着陆场以及至少一个 TAL 返回模式着陆场,其观测和预报的气象条件都必须满足放行条件,并且第一天 PLS 返回模式着陆场预报的气象条件必须满足放行条件。发射时第 45 气象中队监测的天气要素,需满足航天飞机发射放行气象标准,并且预定着陆场观测和预报的天气条件也必须满足放行条件。

着陆飞行气象准则随着陆地点、着陆模式、白天夜晚、任务持续时间以及可用的着陆导航辅助设施的不同而不同,正常情况下,航天飞机白天按 EOM 模式返回肯尼迪航天中心,飞行气象准则为:

云高:大于等于 2400m;

能见度:大于等于 9km;

侧风最大值:8m/s;逆风最大值 13m/s;顺风最大值 8m/s;顺风平均值:5m/s;平均风速与最大风速差值:5m/s;

56km 范围内无降水、无雷暴(含砧状云);37km 范围内无生命史小于 3h 的脱离母体的不透明砧状云;

湍流:中等强度。

在发射和着陆倒计时阶段,直接比较天气预报与飞行气象准则,以评估气象条件是否满足放行标准。

#### 5 返回气象保障实施方法

航天飞机正式的天气预报保障在发射前 2 天开

始,并贯穿整个任务过程,直到航天飞机返回着陆为止。气象预报要素包括云、能见度、降水、风和湍流,此外,还要发布 24km 以下高空风预报,射前和着陆前 6h 温度、机载高度计设置所需大气密度预报。天气简报要突出发射窗口可能出现的天气事件,对 EOM 模式,还要介绍天气对所有着陆场和着陆时机决策的可能影响,所提供的预报不单是预报文本结论,而是采用各种天气图表和分层详细预报相结合的形式。这里介绍任务保障计划及发射前、在轨段、再入(着陆)段的返回气象保障实施方法。

##### 5.1 任务保障计划

在航天飞机预定发射日前 5 周,就开始制定气象保障计划和相关协调工作,着陆后的文档整理及后续工作还可能要持续 1~3 个月,持续时间主要取决于任务期间天气的复杂程度以及发布天气预报的数量。

##### 5.2 发射前返回气象保障

所有发射前天气预报都包括对 RTLS 模式肯尼迪航天中心着陆场、TAL 模式着陆场、AOA 模式和 1st Day PLS 模式着陆场的预报。发射前 48h 向任务管理组提供第一份正式的发射前天气预报,包含在发射前 2 天任务管理组发布的简报中;发射前 24h 向任务管理组、全体航天员提供发射前一天的天气预报;发射前 10h 向任务管理组提供加注天气预报。此时,任务管理组需对是否为外挂助推器加注推进剂、是否继续发射程序等做出决策;发射前 6h 向飞行主任和飞行控制组连续提供所有美国本土和海外着陆场天气预报、天气简报、以及订正预报;发射前 4h 还要为宇航员提供一份单独、细致的天气简报。

RTLS 模式气象保障在发射后 3min 结束,此时发射场应急返回模式选择已经结束。发射后 8min,主发动机关机,此时已不可能选择 TAL 模式,TAL 模式气象保障结束。主发动机关机后,航天飞机进入本次任务的在轨飞行期,此时只剩下 AOA 和 1st Day PLS 两种应急返回模式可供选择。如果飞行主任宣布采用其中任何一种应急返回模式,SMG 就会为飞行主任和飞控组提供连续订正预报,直到航天飞机着陆。

##### 5.3 在轨段返回气象保障

在轨飞行阶段,SMG 提供后 3 天各圈着陆时段美国本土着陆场(KSC、EDW、WSSH)的天气预报,飞控人员根据这些预报选择每天的主着陆场,以便在

轨飞行期间遇到问题时迅速变轨并返回。此外,如果航天飞机需要紧急着陆,还要提供世界各地紧急返回着陆场的天气信息。有时还需提供机载有效载荷科学试验,尤其是那些观测地球表面和大气现象的试验所需的天气预报。预定返回日 5 天前,提供 5 天后正常返回、返回日后延 1~2 天的天气预报。每天任务管理组会议上,领班预报员要报告正常返回日天气展望。

任务管理组和飞行主任特别依赖于正常返回日、以及正常返回日后 1~2 天的天气预报,以制定航天飞机再入(着陆)计划。有些航天飞机推迟或提前 1 天返回,是在 2~3 天前根据天气预报决定的。随着着陆日临近,返回日天气预报和简报越来越详细,当然,非正式的、事先没有安排的,为任务管理组成员和飞行主任提供天气简报的事,每天也时有发生。

#### 5.4 再入(着陆)段气象保障

计划返回着陆 6h 前,SMG 为飞行主任和飞控组连续提供气象预报、简报和订正预报,这些简报支持飞控中心各决策节点,如:着陆前 4h 关闭有效载荷舱门,3h 航天员穿上航天服等。最终的“放行”与“不放行”决策预报,在着陆前 90min 发布。这个时间间隔允许航天飞机进行各种操作,进入变轨点火位置,完成点火,再穿过大气层、着陆。一旦变轨点火,航天飞机必须在指定时间降落到选定的着陆场,唯一可以改变的,只有靠近预定着陆场的航线和降落的跑道。降落时航天飞机实质上是一个没有动力的滑翔机。变轨点火后,航天飞机就失去了为选择另一个着陆时机而再飞一圈的机会,因此 90min 预报必须准确无误并清晰传达,使飞行主任能够做出全面、安全的着陆决策。在预定返回着陆日,通常有 2~3 次着陆机会,一般两次机会在肯尼迪航天中心降落,一次机会在爱德华兹空军基地降落。在肯尼迪航天中心降落的两次机会间隔 90min,此段时间航天飞机可以绕地球飞行一圈再着陆;在爱德华兹空军基地降落的第一次机会与在肯尼迪航天中心降落的第二次机会在同一圈,或在下一圈(第三圈)。

如果由于观测或预报的气象条件与飞行准则相违背,在肯尼迪航天中心则失去降落的第一次机会,飞行主任可能决定航天飞机尝试第二次机会,降落在肯尼迪航天中心或者爱德华兹空军基地,要求 SMG 提供下一个 90min 天气是“放行”还是“不放行”

的评估。如果天气仍然不行,飞行主任可能倾向于放弃这次着陆机会,而等到第二天。大多数任务中,指定着陆场的优先级高于指定返回日期,因此预报第二天主着陆场天气可行将优先于当日备用着陆场可行,从而使任务延长 1 天或 2 天。

## 6 值得借鉴的经验

对比我国载人航天返回气象保障,美国航天飞机返回气象保障有以下几方面值得借鉴。

(1)完善的气象保障组织协调机制。美国航天飞机气象保障涉及国家气象局和美国空军军地两家单位,而且具体保障单位:SMG 和空军第 45 气象中队,在地理位置上相隔甚远,却能高效联合地为航天飞机飞行试验任务提供全过程、无缝隙气象保障。

(2)非常重视飞行任务气象条件的制定。每次任务前,SMG 都要制定并发布本次任务的着陆飞行气象准则,相当于我们的飞船着陆气象条件;发射中心制定发射放行标准,相当于飞船发射气象条件,而且两个条件互相关联,发射时必须考虑着陆气象条件。这两个纲领性文件把复杂的技术协作问题简单化、程序化,成为气象保障单位协作的基础。但在实际保障过程中并不固守条件,而是灵活、机动地利用临近观测手段,尤其在临界气象条件时,甚至派飞机沿返回航线进行天气侦察,以确定是否安全;或者请求国家卫星中心进行高密度气象观测,获取“超高速扫描”(约间隔 1min)红外和可见光云图,用于短时临近预报,在确保安全的前提下,不放弃任何一次返回机会。

(3)气象保障人员与飞控中心飞控组人员的互动融合。航天飞行气象组从 1962 年起就是飞控中心飞控组的成员单位。非任务期间,NASA 通过一系列的模拟演练,几乎每天都对飞控人员进行训练。航天飞行气象组参加上升段(发射)和再入段(着陆)飞控演练,提供航天飞机着陆场天气预报和天气简报,这些飞控演练促进了气象组与飞控组的互动与融合,并为气象人员提供了业务训练机会。航天飞行气象组同时也是约翰逊航天中心的气象办公室,参与与气象有关事宜的评估,比如:提出飞行气象准则修改方案、着陆场气象设备升级改造以及着陆场气候研究等;参加着陆后与气象相关的航天飞机性能分析;对飞行主任、飞控人员和宇航员进行正式的气象培训

等。在 NASA 的工作人员获取天气预报、展望和简报,讨论发射和着陆策略时,SMG 也会利用这些机会,对他们进行非正式的气象培训。这些机制促进了双方的相互了解,是圆满完成气象保障任务的基础。

(4)重视非任务期间预报保障的培训。非任务期间,SMG 每日制作着陆场天气预报并进行检验,包括:发射后 30min 预报(预报区域是发射场边上的着陆场和海外应急返回着陆场),90min 预报(预报区域为任务结束正常返回模式着陆场),15h 预报(预报区域为发射场边上的着陆场、海外应急返回着陆场以及任务结束正常返回着陆场),以及 24h 预报(预报区域同 15h)等;这种日常预报训练所获得的宝贵经验,对于确保任务期间航天飞机着陆气象保障的成功非常重要。任务和非任务期间,SMG 还为航天员的飞行训练提供导航天气简报;为影响约翰逊航天中心人员和设施安全的天气事件提出建议,如 9km 范围内的闪电、大到暴雨、大风(大于 15m/s)、强雷暴、龙卷风、冻雨、热带低压、热带风暴和飓风等;为约翰逊航天中心及其西北部的阿灵顿试验场举行的易受天气影响的活动,提供天气保障。当热带风暴或飓风影响休斯敦-加尔维斯敦地区时,SMG 一直提供天气建议,直到决定关闭约翰逊航天中心或者威胁解除。SMG 的天气预报和建议对于约翰逊航天中心的管理非常重要,尤其在决定何时关闭航天中心的决策作用更为突出。

(5)经验丰富而稳定的气象保障人员队伍。SMG 根据国家气象局(NOAA/NWS)与国家航空航天局(NASA)签订的“联合航天计划合同”(CSOC)开展工作。根据合同,该组由一名签约气象学家、一名行政助理、8 名来自 NOAA 下属的国家天气局的气象学

家组成。其费用由 NOAA 先行垫付,再到 NASA 报销。SMG 的领班预报员至少拥有气象学学士学位,有些甚至拥有气象学或相关学科研究生学位,并且在被该单位聘用之前,至少要具有 10 年的预报经验。目前 SMG 已有累计 60 年的航天飞机着陆气象保障经验,其中两名领班预报员已有 23 年(截止到 2008 年 1 月)航天飞机天气预报经验;技术开发人员都是具有计算机系统应用、气象技术开发和技术转化等方面经验的气象学家;另外还有几名软件和电气工程师组成保障小组,专门为气象数据交互式显示系统提供技术保障。SMG 人员队伍相当稳定,从该组在因特网上公布的 1995~2007 年几张全体人员合影可看出,12 年间除退休外,人员几乎没有变动。气象保障需要科技进步支撑,同时更需要长期经验保驾,如何保留具有丰富经验的天气预报人才队伍也是非常值得我们深思的问题。◇

#### 参 考 文 献

- [1] Bellue, D. G., Spaceflight Meteorology Group evolution of the daily simulation forecast verification effort, Preprints, Fifth Int. Conf. on Aviation Weather Systems, 1993。
- [2] Luis C. Rabelo and Jose Sepulveda, Simulation of range safety for the NASA space shuttle, Aircraft Engineering & Aerospace Technology: An International Journal, 2006 (Volume 78 · Number 2 98-106)。
- [3] NASA Operational Shuttle Flight Rules (NSTS 12820), Final June 6, 1996, PCN-4 May 1, 1997, Vol. A, section 2.1.1-6。
- [4] Brody, F. C., R. A. Lafosse., D. G. Bellue, and T. D. Oram, 1997: OPERATIONS OF THE NATIONAL WEATHER SERVICE SPACEFLIGHT METEOROLOGY GROUP, Weather And Forecasting, 12, No 3, Part 1, 526-544。

## Research on the Weather Support to American Space Shuttle Reentry

CHEN Shuchi<sup>1</sup> ZHANG Xiangrong<sup>1</sup> HE Wugui<sup>2</sup>

(1. Beijing Aerospace Command & Control Center, 2. Headquarters of the General Equipment PLA)

**Abstract:** The weather support to the reentry of the American space shuttle, such as supporting units and its missions, reentry and landing models, flight rules, etc., for different period of the whole supporting process including pre-launch, on the orbit and landing, is discussed. The author also refined some successful methods that should be useful to the meteorological support of the Chinese manned spaceflight engineering.

**Key words:** space shuttle, reentry and landing, weather support, weather flight rules