

大型运输机高原试飞技术保障初探

倪俊*

中航工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

摘要: 为检验大型运输机在高原环境下的正常使用能力, 现场调研了高原机场环境特点及运行条件, 根据高原试飞特点及高原试飞目的, 制定了具体的试飞任务方案, 完成了高原试飞准备, 依据既定方案分梯度开展高原试飞技术保障。结合具体型号试飞, 对大型运输机高原试飞技术保障方式进行了验证。结果表明, 该高原试飞技术保障可以支持大型运输机的高原试飞, 可为之后相关的异地试飞保障提供依据。

关键词: 大型运输机; 高原试飞; 环境条件; 选址; 技术保障; 飞行模拟训练

中图分类号: V271.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2016) 06-0039-05

大型运输机要求具有能在高温、寒冷、湿热、风、雨及高原等严酷环境条件下使用的能力。其中, 高原环境试飞是军民飞机试飞鉴定的重要组成部分之一。

高原地区地形及气象条件复杂, 前期准备工作和试飞过程中的问题处理能力就成为影响试飞结果的重要因素。需要在开展试飞任务前对高原环境及高原机场实际运行情况进行调研考察, 分析高原环境对机体影响, 并在高原转场前对飞机做出针对性调整, 对高原试飞科目做出合理安排, 让高原试飞参试人员做好适应性准备, 为顺利完成大型运输机高原试飞提供保障。

1 高原试飞目的

高原试飞旨在检验飞机整体对高原环境的适应能力, 主要包括:

- (1) 验证辅助动力装置 (APU) 在高原机场的负载能力。
- (2) 验证发动机在高原机场的启动可靠性。
- (3) 验证环控系统高原环境下的工作性能。
- (4) 验证飞机在高原机场的起降能力。

2 高原环境影响

2.1 高原机场特点

(1) 地理环境特点

高原机场海拔高, 空气密度低, 会对飞机的飞行性能

产生影响。净空环境差, 地形复杂, 多山地, 机场多面环山, 仅有一面或两面对平缓, 起飞离场和着陆下滑进近梯度大, 飞机在起降过程中必须在机场周围群山高度之下的区域飞行, 飞机机动空间有限, 飞行安全裕度相对减小^[1]。

(2) 气候环境特点

高原地区的日照十分充足, 由于地形的阻挡, 近地面的空气经常受热不均, 造成高原机场上风的速度和方向的变化很大, 很容易形成乱流和风切变。此外, 积云、低云、雨雪、结冰、雷暴、低能见度等对飞行极为不利的气象也经常出现, 气象条件复杂, 昼夜温差大, 这些对飞机的气动性能和滑跑等都是一个严峻的挑战。

多阵性风和风切变, 高原山区的乱流比一般山地更为强烈, 以青藏高原为例, 其群山环绕, 峭壁高耸, 地形动力乱流十分显著。且因高原上空气稀薄, 日照充足, 太阳辐射强, 近地面的空气经常受热不均, 气温变化大, 热力乱流也强, 二者常结合在一起, 形成强烈乱流。所以, 高原飞行中风速高、飞机颠簸大。

表 1 是典型高原地区稻城-亚丁机场 2012-2013 年气候条件的部分数据^[2]。该地区最高气温 23℃, 出现在 7 月, 5-9 月为雨季, 这几个月的平均相对湿度在 70% 以上, 降水集中在午后到夜间; 4-10 月盛行北北东 (NNE) 或东东北 (ENE) 风, 风主要出现在午后, 瞬间最大风速达 28.5m/s。

收稿日期: 2015-12-05 退修日期: 2016-03-23 录用日期: 2016-04-18

* 通讯作者. Tel.: 029-86832716 E-mail: 1020761478@qq.com

引用格式: NI Jun. Preliminary research on highland flight test technical support of large transport aircraft [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27 (06): 39-43. 倪俊. 大型运输机高原试飞技术保障初探 [J]. 航空科学技术, 2016, 27 (06): 39-43.

表 1 稻城 – 亚丁机场气候情况
Table 1 Climate at ZUDC/DCY

月份	月平均 气温 /℃		平均相对 湿度 / (%)	平均气压 / (hPa)
	最高	最低		
5 月	13.5	-6.2	72	1031.7
6 月	15.7	2.4	78	1034.4
7 月	14.2	4.0	80	1034.0
8 月	13.1	4.1	73	1035.3
9 月	14.4	-1.1	86	1034.9
年平均	10.1	-8.4	54	1029.5

(3) 机场运行条件

航路最低安全高度高,加之地形复杂、通信导航信号又受地形影响大,所以导航设备限制使用,无线电波产生多路径干扰,地面通信距离短,VOR/DEM 作用距离小且信号不稳定。

与平原机场相比,高原机场的保障力量普遍稍显薄弱,如稻城-亚丁机场,每日仅有 2~3 个航班,而且飞机不作长时间不停放,通常在 21:30 前就能结束当日飞行,工作量小,机场无需配备过多的设备与工作人员。因此,为了保证试飞安全顺利进行,需自行携带充足的设备及保障车辆等。

(4) 高原环境对人的影响

由于高原地区气压低、空气稀薄,随着高度的增加,大气压力逐渐下降,相应的氧气压力也会降低,这将直接导致人体内的血氧浓度降低。当血氧浓度降低到一定程度时,人的行为和思考能力将受到严重影响,容易造成反应力下降、思维迟钝。疲劳、酒精、吸烟都会导致缺氧,影响人的健康。其次,高原自然环境所具有的低温、高风速、干燥、日照辐射强、臭氧高等特点,也会对人体造成一定程度的负面影响^[3]。

同时,由于飞行操纵及飞行程序更为复杂,对飞行机组的基本驾驶技术和综合素质要求会更高。

2.2 高原环境对飞机性能的影响

高原试飞具有其显著的自身特点,主要体现在以下 4 个方面:

(1) 对动力的影响

随起降机场高度的增加,由于空气密度随之减小,发动机地面慢车转速高,起飞最大推力减小;同时,随机场高度的增加,温度降低,发动机推力增大;但从整体来看,发动机推力还是随高度增加而减小。进而导致飞机爬升和越障能力变差,飞机空中加、减速距离变长,转弯半径增大。高原

地区日温差大,大范围的温度变化也会对起降性能产生明显影响。

(2) 对刹车的影响

高海拔地区,飞机起飞重量小,机轮与地面的摩擦力小,刹车效率低;制动时,由于空气密度低,同样表速下,真空速大,飞机动能大,飞机停止下来需要更长的距离,因此需要频繁使用刹车。

(3) 对机轮的影响

频繁使用刹车,使机轮升温快,同时飞机在起飞滑跑中机轮转动速度高,高速转动会导致离心力过大,轮胎会因张力过大而破坏。

(4) 对起飞距离的影响

海拔升高,空气密度降低,使起飞所需距离、滑跑所需距离和中断起飞所需距离均增大。这是因为:一方面,空气密度降低,为使飞机离地、升力等于机重,为求得更大的速度,使得滑跑距离增长;另一方面,空气密度降低,发动机推力降低,起飞滑跑加速度减小,使滑跑、起飞距离增大。

3 高原试飞机场的选择

高原机场数量众多、运行条件不一,当地环境也大相径庭,为顺利开展试飞任务,在选择机场时,需考虑各方面因素。

3.1 高原试飞选址原则

进行高原试飞选址时,需遵循以下几点原则:

- (1) 机场自身配备需满足飞机基本保障要求。
- (2) 确保机场能在最严格的条件下验证飞机能力。
- (3) 机场选取需遵循试飞工作循序渐进、由低到高、从易到难的原则。
- (4) 机场所处位置要便于保障设备及特种车辆的运输。

3.2 试飞机场确定

为保证试飞任务顺利进行,采取阶梯式上升的方式,备选机场需涵盖多个高度梯度,逐层保证飞机对高原的适应性。

开展试飞工作区别于民用机场日常运行,应尽可能选择环境条件较为单一的机场,以减少影响飞行的因素数量。国内高原机场多分布在西南地区,地理位置相对集中,气候条件差异不大,除个别因阴雨天气限制飞行时段的机场,大多数都符合要求。

机场的选择首先要考虑机场跑道状况及承载能力。由于大型运输机重量大,在未进行跑道适应能力试飞的前提

下,应尽可能选择停机坪及跑道道面等级(PCN)值大的机场,避免因飞机重量对停机坪及跑道造成破坏;其次,飞机在高原起飞距离相对较长,需参考本场起飞距离给出高原特定高度下的起飞距离,保证机场主跑道长度大于理论值;此外,还需考虑飞机起飞前及起飞过程可能出现突发情况,机场跑道需要足够的宽度可以使飞机调头滑回。

为确保飞机对各个高度的起降都具有适应性,并且保证试飞开展过程安全顺利进行,尽管高原试飞最终目标应选为国内海拔最高的机场——稻城—亚丁机场(海拔4411m),仍需要选取2000m,3000m,4000m等高度下典型高原特征机场完成试飞。国内西南地区部分高原机场情况,如表2所示。

表2 部分高原机场情况一览
Table 2 Characteristic data of several airport in the plateau areas

机场	坐标	标高/m	跑道	级别	PCN
丽江—三义机场	N26° 40′ , E100° 14′	2242.8	3000m×45m	4D	68
迪庆—香格里拉机场	N27° 47′ , E99° 40′	3287.9	3600m×45m	4D	41
稻城—亚丁机场	N29° 19′ , E100° 03′	4411	4200m×45m	4C	57
青海—格尔木机场	N36° 24′ , E94° 47′	2842	4800m×50m	4D	48
拉萨—贡嘎机场	N29° 30′ , E90° 91′	3569.5	4000m×45m	4E	
昌都—邦达机场	N30° 33′ , E97° 06′	4334	4200m×45m	4D	

从国内民航总局可以得到各机场的最新详细资料,根据机场高度以及地理位置等情况选择2~3条备选路线,再对机场进行实地考察,了解当地实际保障能力及限制条件。

此外,还需要了解各机场之间的路况,因为试飞工作需要用到大量的地面保障设备及特种车辆,道路情况会严重影响物资运输,进而大大降低试飞工作开展的连续性,所以,选择路况良好、距离最短的机场对试飞工作有序展开有极大的促进作用。

4 高原试飞本场准备

4.1 飞机调试

在转场前对飞机各系统进行评估,判断其状态是否满足高原试飞需要,依据评估结果对有需求的系统设备、软件进行升级改造或对功能限制使用。为进行有效评估,需要在早期进行充足的试验准备,完成各系统的相关试验。

(1) 动力系统调试

动力系统受高原环境影响制约较大^[4]。飞机在高原机场运行,容易出现发动机启动困难的问题,主要表现在转速

上升慢甚至悬挂、启动温度高和启动过程自动中断等问题。另外,发动机启动过程中,经常遇到超温保护和失速保护。出现这些现象的根本原因在于高原机场的空气稀薄,在启动过程中,APU提供的气源压力要远低于低海拔地区,同时,相关软件关于失速判断的数据库主要考虑的是低海拔情况,所以,应对高原机场的数据进行综合考虑,对其做出一定的调整,使得发动机具有良好的高原适应性,并提前进行发动机高原启动试验,验证发动机状态。

(2) 环控系统调试

高原起降供氧方式也与平原地区有所不同,依据《飞机气氧系统设计和安装通用规范》^[5],飞机在座舱高度大于3000m时,具有向空勤人员及全体乘客供养的能力,而在高原地区的地面高度已经超过3000m,氧气系统需要针对高原环境进行评估;同时,压调系统也会对飞行员状态产生很大影响,需要进行座舱增压高原起降试验。

(3) 其他相关调试

加载选用机场的地形数据和机场数据,用以满足起降需要。由于外场环境更换机轮作业困难,需要在本场对飞机轮胎按检查要求进行验证。

4.2 飞行准备

4.2.1 模拟训练

高原地区机场的地形复杂,导致运行环境较差,会出现如跑道短、仪表着陆系统ILS下滑道角度大(丽江机场下滑道3.5°)、进场高度高(丽江机场18m)等问题,加上高原飞行,随高度增加,标准程序下的着陆空中距离有所增加,空中拉平段过长使得接地点靠前,在着陆时就有冲出跑道的可能。为避免此类情况发生,针对特定机场,就需要在开展试飞前充分分析着陆机场的实际特点,对所需着陆距离进行适当调整,以保守的方式来进行操作并在驾驶技术上有针对性地进行模拟训练:

(1) 在本场进行以当地机场环境为限制条件的高原试飞模拟训练,以验证飞机的基本能力,同时可以让试飞员熟悉操作流程。

(2) 在各高度梯度及各高原起飞推重比范围内,进行高原起飞、着陆构型的复飞模拟。进行高原各梯度高度范围的单发启停试验,以检查飞机单发失效时的升限,并检查氧气装置及压调系统的正常使用情况。

(3) 最大刹车能量摸底。飞机加速到预定的中止起飞速度,采取减速措施,所有发动机油门收至地面慢车,自动打开减速板,不使用反推力,正常刹车(自动/手动),直到飞

机完全停止。

4.2.2 科目准备

充分考虑飞机实际使用中的情况,并以此为标准合理地安排试飞科目,这样有助于试飞工作展开,并提高效率,充分挖掘飞机性能。

首先,要保证飞机使用中的飞行安全。运输类飞机必须保证:在巡航过程中的任意一点出现发动机失效的情况下,飞机不能低于航路最低安全高度或性能计算分析确定的最低高度,仍能有足够的安全性。对于四发飞机需考虑一发失效及两发同时失效的情况下,飞机仍能够具有一定的平飞及越障能力,并保证飞机的安全着陆。

其次,要根据飞机使用目的安排试飞任务。大型运输机进行高原飞行的目的是进行物资运输,这不仅包括从其他地区运送物资到高原,还包括将高原上的物资运离,所以试飞工作需要从飞机的功能性方面考虑,关注的内容应该包含飞机在高原的最大起飞重量、最小离地速度、最短起飞距离等。

因此,需要在高原试飞前进行最大起落重量、最大爬升梯度、最小操纵速度、大侧风、失速等科目试飞,以获得充足有效的参考数据,对飞机性能有充分的认识,使飞行员面对各种情况有足够的信心并及时做出反应。

4.3 参试人员准备

在高原试飞前,需要对参试人员进行一定的心理训练,使其充分认识可能遇到的突发情况;并对参试人员进行体检,对特殊疾病患者限制其上高原,减低急性高原病的发病率;同时加强锻炼,增强体质,提高人体对高原特殊环境的适应能力;携带足够的衣物、饮水、药品,以应对突发情况。

进入高原时,地面人员遵循阶梯适应原则,合理安排工作强度,重视饮食营养摄取。

5 某型飞机高原试飞实施

2015年,飞机在各个高度的机场进行了高原试飞及相关地面试验。在地面进行了高原环境下APU启动、APU引气启动发动机、地面气源车启动发动机等多项试验;空中飞行验证了飞机的高原起降能力与基本飞行性能。

5.1 试飞组织

异地试飞实施受天气环境制约较大,能够及时开展相关工作有助于整体效率的提高。如稻城-亚丁机场,其日均气温较低,每年仅在6-8月期间最低温度高于0℃,所以可以开展试飞的有效时间仅有2个月,保证飞机在此之前状

态良好才能及时进行试飞转场。同样,考虑到当地气象条件,每日进场时间选择为当日气温最高的时段,同时要避免干扰民航机场正常航班运行,这都需要及时快速地开展飞行前准备工作。

飞行后需按维护手册对发动机及APU进行检查,保证其状态良好。

5.2 试飞数据处理

飞行结束后,各专业通过试飞数据分析系统平台提取相关数据,对其进行分析。一方面用以对各系统进行评估,在下个试飞项目开展前对系统进行升级改进,提升飞机性能。另一方面,根据试验结果对现有的计算方法及模型进行评估,以提高计算方法的准确性。

5.3 试飞结果

依据制定的高原各项保障措施开展试飞,历时近1个月,进行了十数架次的飞行,获得了可观有效的数据结果,通过对数据的分析,得出试飞初步结论:飞机的高原起降性能试飞结果与设计计算结果吻合良好,飞机高原起飞能够达到起飞限重设计值。表明各项技术保障措施可以有效支持大型运输机的高原试飞。

6 结束语

依据高原试飞目标需求,分析了高原环境对飞机影响及高原机场实际运行情况,依此制定试飞任务,充分开展试飞准备,并结合型号进行了高原试飞,结果表明,一方面该型飞机具有良好的高原试飞能力;另一方面对大型运输机高原试飞技术保障方式进行了验证,证明保障方法行之有效,能够在保证安全的前提下,极大提高试飞效率。该技术保障方式可为其他科目异地试飞提供参考。

AST

参考文献

- [1] 余江. 高原/地形复杂机场和航线运行的飞机性能分析[M]. 成都:西南交通大学出版社,2006.
YU Jiang. Aircraft performance analysis in high elevation/complex terrain airports and routes[M]. Chengdu: Publisher of Southwest Jiaotong University, 2006. (in Chinese)
- [2] CAAC. 中国民航国内航空资料汇编[S]. 北京:中国民航总局,2013.
CAAC. Aeronautic information publication of civil aviation of China[S]. Beijing: General Administration of Civil Aviation of China, 2013. (in Chinese)

- [3] 陆崑. 高原机场维修保障工作初探 [J]. 航空维修与工程, 2009 (3): 62-64.
LU Kun. Preliminary research of aircraft maintenance and service at plateau airport [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2009 (3): 62-64. (in Chinese)
- [4] 杨乐. 高原机场民用飞机起飞性能关键技术研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.
YANG Le. Research on the key technology of civil aircraft take-off performance in high elevation airport [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2007. (in Chinese)
- [5] GJB1565. 飞机气氧系统的设计和安装通用规范 [J]. 航空标准化与质量, 1980 (S2).
GJB1565. Design and installation of gaseous oxygen system in aircraft general specification [J]. Aeronautic Standardization & Quality, 1980 (S2). (in Chinese)

作者简介

倪俊 (1989—) 男, 工程师。主要研究方向: 飞机试飞保障。
Tel: 029-86832716
E-mail: 1020761478@qq.com

Preliminary Research on Highland Flight Test Technical Support of Large Transport Aircraft

NI Jun*

AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

Abstract: To test the capabilities of large transport aircraft under the environmental conditions of plateau area, investigated the environmental characteristics and flight conditions of the plateau airports, made a plan and a full preparation for the mission, provided technical support to the flight test in accordance with the plan. The scheme of highland flight test technical support was validated by the actual flight test conducted in the plateau area and it showed that these manners can make an effective support of the highland flight test. The achievements obtained can provide guidance for flight test technical support in other unusual places.

Key Words: large transport aircraft; highland flight test; environmental conditions; site selection; technical support; flight simulation training

Received: 2015-12-05; Revised: 2016-03-23; Accepted: 2016-04-18

*Corresponding author. Tel.: 029-86832716 E-mail: 1020761478@qq.com