

张莹,倪洪波,倪萍,等. 面向试飞任务的阎良机场夏季气象保障条件及方法研究[J]. 陕西气象, 2021(6):66-72.

文章编号:1006-4354(2021)06-0066-07

面向试飞任务的阎良机场夏季气象保障条件及方法研究

张莹¹,倪洪波¹,倪萍¹,张蕾²

(1. 中国飞行试验研究院场务部气象台,西安 710089;

2. 阎良区气象局,西安 710089)

摘要:利用阎良机场 2008—2017 年地面气象观测和西安、宝鸡、延安多普勒天气雷达探测资料,统计分析了阎良机场夏季降水、气温和雷暴天气特点,针对型号飞机雨刷功能、湿跑道、高温和机载气象雷达探测性能的科目试飞展开研究。研究表明:(1)阎良机场具有适宜的雨刷功能、湿跑道、高温和机载气象雷达探测性能科目试飞天气条件,可以作为上述科目试飞场址;(2)阎良机场夏季月平均降雨量呈逐月增加的趋势,适宜开展雨刷功能和湿跑道科目试飞,可飞日数均为 7 月最多;(3)阎良机场夏季各月均有一定的高温科目试飞天气条件,7 月可试飞日数最多,6 月次之,8 月略少;(4)阎良机场 10 a 夏季有 57.4% 的不稳定天气过程出现雷暴,试飞气象保障不仅要捕捉以雷暴为代表的强对流天气,以保障完成探测试飞任务,同时,还需防范 42.6% 未出现雷暴的不稳定天气过程对试飞质量、效率、进度和安全的影响;(5)通过总结阎良机场出现雷暴天气的特点,研究出试飞准备和实施阶段强对流天气实时监测预警对策,在 2018—2020 年夏季试飞气象保障中发挥了重要作用。

关键词:夏季;降水;高温;雷暴;保障对策;阎良机场

中图分类号:V321.2

文献标识码:A

夏季是阎良机场试飞的黄金季节,具有较丰富的雨刷功能、湿跑道、高温和机载气象雷达探测性能试飞(以下简称探测试飞)天气条件^[1]。型号飞机的雨刷功能科目试飞,要求参试飞机在小雨(不包括零星小雨)、中雨和大雨天气条件下飞行,验证最新研制飞机的雨刷功能是否达到设计指标,满足使用需求。型号飞机的湿跑道科目试飞,要求在小雨(不包括零星小雨)和中雨天气背景下,跑道上形成不同程度的积水,验证飞机在起飞和着陆构型的滑行速度。型号飞机的高温科目试飞,要求环境温度分别为 $>30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $>35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $>40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,验证飞机相关系统功能是否达到设计要求及性能是否满足使用需求。探测试飞是

以空中真实的典型气象目标(雷暴或强降水)为探测对象,利用新研机载气象雷达进行探测,并与临近的地基天气雷达探测数据对比,验证新研机载气象雷达的探测性能。

强对流天气会对试飞质量、效率、进度和安全产生影响。近年来,试飞任务“急、难、险、重、散、新”的特点日益凸显,对航空器在复杂严苛的气象条件下开展性能和品质验证的要求越来越高。试飞气象保障也从传统的“幕后”辅助性工作逐渐走到“前台”,成为参与型号研制的主要力量之一。为协助型号飞机雨刷功能、湿跑道、高温科目试验选择适宜的试飞“窗口”,统计分析 2008—2017 年阎良机场夏季降水和气温资料,得到夏季降水、高

收稿日期:2021-02-22

作者简介:张莹(1991—),女,汉族,新疆伊宁人,硕士,工程师,从事航空气象研究及试飞气象保障。

基金项目:西安市气象局科学技术研究项目(xqky2019-14)

温天气分布特征,为多个型号飞机在 2018—2020 年开展上述科目试飞提供了依据。利用 2008—2017 年阎良机场地面气象观测和西安、宝鸡、延安多普勒天气雷达探测资料,统计分析阎良机场及空域雷暴天气的特征,结合试飞保障实践,提炼形成对流天气背景试飞气象保障对策,在 2018—2020 年夏季试飞气象保障中推广应用,未发生因雷暴天气过程导致试飞事故或症候的情况,最大限度保障了试飞安全。

1 资料及方法

分析使用 2008—2017 年阎良机场 24 h 地面气象观测资料和西安、宝鸡、延安多普勒天气雷达探测资料。季节划分采用自然季节划分法,6—8 月为夏季^[2]。降水量等级采用 24 h 降水量^[3],即 <0.1 mm 为微量降雨(零星小雨), $0.1\sim 9.9$ mm 为小雨, $10.0\sim 24.9$ mm 为中雨, $25.0\sim 49.9$ mm 为大雨, $50.0\sim 99.9$ mm 为暴雨。阎良机场的日平均气温统计是将每日 02、08、14、20 时的气温相加取平均值。雷暴次数统计方法:雷暴持续时间跨过日界,但未停止的,记为一次雷暴;同一日发生多次雷暴,凡两次雷暴间隔时间不大于 2 h,或间隔期间阵性降水持续,或有积雨云存在,则记为一次雷暴,否则,记为 2 次雷暴。

2 夏季天气特征及气象保障建议

2.1 降水

2.1.1 年际和月变化特征 阎良机场 2008—2017 年夏季降水量年际变化较大,10 a 平均降水量为 230.2 mm。2008 年最多为 463.2 mm,达到阎良机场年平均降水量 550 mm 的 84.2%,为夏季平均降水量的 2 倍多;2011 年最少仅有 140.3 mm,为夏季平均降水量的 60.9%。阎良机场 10 a 夏季月平均降水量为 76.8 mm,逐月月平均降水量自 6 月至 8 月呈逐渐增加的趋势,其中,6 月月平均降水量较夏季月平均降水量少 20 mm,7 月和 8 月月平均降水量均较夏季月平均降水量多。统计结果与李红梅等^[4]对陕西关中地区夏季降水量变化特征的研究相符。10 a 中阎良机场 6 月有 4 个月、7 月有 4 个月、8 月有 5 个月的降水量,分别大于 10 a 年当月月平均降水量(表 1)。因此,从阎良机场夏季月平均降水量分

布角度讲,是具有适宜的雨刷功能和湿跑道科目试飞天气条件的,且 10 a 夏季平均逐月可飞天气日数是逐月增加的。

表 1 阎良机场 2008—2017 年夏季月降水量统计

单位:mm					
年份	6 月	7 月	8 月	合计	平均
2008	116.5	153.0	193.7	463.2	154.4
2009	31.3	61.1	117.0	209.4	69.8
2010	24.7	94.7	127.8	247.2	82.4
2011	30.1	58.6	51.6	140.3	46.8
2012	69.6	65.3	58.5	193.4	64.5
2013	25.6	87.1	46.6	159.3	53.1
2014	34.6	102.8	131.9	269.3	89.8
2015	91.1	23.3	57.9	172.3	57.4
2016	44.4	68.8	44.0	157.2	52.4
2017	99.7	74.0	117.1	290.8	96.9
平均	56.8	78.9	94.6	230.2	76.8

2.1.2 各等级降水日数 阎良机场 10 a 夏季降水日合计 371 d,占夏季总日数的 40.3%。降水量出现最多的是小雨,有 176 d,其次是零星小雨,有 119 d,分别占降水总日数的 47.4%和 32.1%。出现中雨 49 d 和大雨 25 d,分别占降水总日数的 13.2%和 6.7%。10 a 中夏季共发生暴雨 2 次,出现在 2008 年 7 月 19 日和 2017 年 8 月 20 日,降水量分别为 75.6 mm 和 95.2 mm。

夏季各月各等级降水出现日数:零星小雨 6 月、7 月较多,分别为 43 d 和 42 d,8 月较少为 34 d;小雨 7 月最多,为 71 d,6 月和 8 月分别为 52 d 和 53 d;中雨也是 7 月最多为 19 d,8 月次之为 16 d,6 月最少为 14 d;大雨 8 月最多为 13 d,6 月和 7 月接近,分别为 7 d 和 5 d(图 1)。分析表明,阎良机场在夏季开展雨刷功能和湿跑道科目试飞均有适宜的天气条件,可试飞日数均为 7 月最多,其次是 8 月和 6 月。

2.1.3 月最大日降水量 阎良机场 10 a 夏季 30 个月中,各月的最大日降水量均达到中雨等级。月最大日降水量达到大雨等级以上的有 21 个月,占月总数的 70.0%。其中,有 2 个月的月最大日

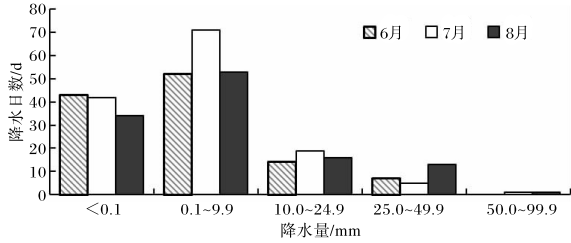


图1 阎良机场2008—2017年夏季各降水等级日数

降水量达到暴雨等级,分别为2008年7月19日和2017年8月20日。逐月对比可以看出,6月和7月月最大日降水量的最大值与最小值之差分别为33.3 mm和42.0 mm。8月的月最大日降水量的最大值与最小值差异仅为24.6 mm,但是,10 a中8月的最大日降水量普遍较大(图2)。因此,雨刷功能、湿跑道科目试飞在6月和7月实施,安全风险相对较低,但效率也相对较低;反之,在8月实施的安全风险相对较高,效率也相对较高。

2.2 气温

2.2.1 日最高气温日数的年分布 2008—2017年阎良机场夏季日最高气温 $>30.0^{\circ}\text{C}$ 的年日数在59~81 d之间,其中6月在17~32 d之间,7月在22~29 d,8月在15~28 d,每月均有一半以上的可飞日数(表2)。10 a阎良机场夏季日最

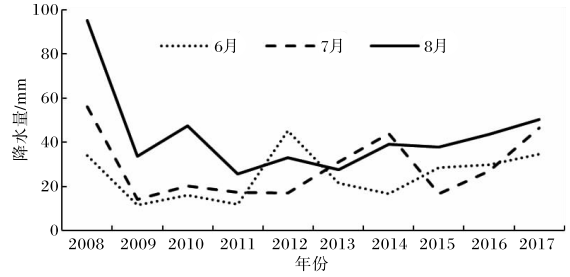


图2 阎良机场2008—2017年夏季各月最大日降水量

高气 $>35.0^{\circ}\text{C}$ 的年日数在11~38 d之间,其中,6月在6~17 d之间,7月为3~21 d,8月为0~13 d,6月、7月的可飞日数较多,8月最少。10 a阎良机场夏季日最高气温 $>40.0^{\circ}\text{C}$ 的年日数在0~9 d之间,2017年最多为9 d,均出现在7月;2009年和2014年各有2 d,分别出现在6月和7月;2011年和2013年各有1 d,分别出现在7月和6月;其余5 a均未出现日最高气温 $>40.0^{\circ}\text{C}$ 的天气(表略)。以上特征与程肖侠等^[5-7]关于陕西地区高温随时间变化的研究结论相一致。可见,阎良机场夏季具有适宜开展气温 $>30.0^{\circ}\text{C}$ 和 $>35.0^{\circ}\text{C}$ 高温科目试飞的天气条件,开展气温 $>40.0^{\circ}\text{C}$ 高温科目试飞的天气条件规律性较差,宜在6月和7月实施,8月没有可试飞天气条件。

表2 阎良机场2008—2017年夏季日最高气温 $>30.0^{\circ}\text{C}$ 和 $>35.0^{\circ}\text{C}$ 日数的年变化 单位:d

年份	日最高气温 $>30.0^{\circ}\text{C}$				日最高气温 $>35.0^{\circ}\text{C}$			
	6月	7月	8月	合计	6月	7月	8月	合计
2008	20	24	17	61	6	3	2	11
2009	26	25	16	67	13	13	0	26
2010	23	22	15	60	12	12	5	29
2011	22	22	15	59	10	10	3	23
2012	23	25	19	67	10	7	2	19
2013	26	26	27	79	15	8	10	33
2014	24	27	19	70	11	20	4	35
2015	17	29	23	69	7	14	1	22
2016	24	28	28	80	11	13	13	37
2017	32	28	21	81	17	21	10	38

2.2.2 日最高气温日数的区间分布 阎良机场10 a夏季日最高气温 $>30.0^{\circ}\text{C}$ 的日数共有693 d,占夏季日历总日数的75.3%。其中,30.1~35.0 $^{\circ}\text{C}$ 的区间出现日数最多,为410 d;其次是35.1~

40.0 $^{\circ}\text{C}$ 的区间,有268 d; $>40.0^{\circ}\text{C}$ 的区间仅有15 d,分别占夏季日历总日数的44.6%、29.1%和1.6%。

阎良机场的日最高气温的月分布日数,在

30.1~35.0℃的区间,8月最多,达到150 d;7月次之,有135 d;6月最少,为125 d。在35.1~40.0℃的区间,6月和7月均有109 d;8月较少,为50 d。在>40.0℃的区间,7月最多,为12 d,6月有3 d,8月没有(表3)。因此,在高温科目试飞中,较高温度条件的试飞任务,应优先抓取7月和6月的试飞“窗口”,较低温度条件的试飞任务,夏季各月均有充裕的试飞天气条件。

表3 阎良机场2008—2017年夏季月高温日数
单位:d

温度范围/℃	6月	7月	8月	合计
30.1~35.0	125	135	150	410
最高气温				
35.1~40.0	109	109	50	268
>40.0	3	12	0	15
平均气温				
30.1~35.0	34	66	41	141

2.2.3 日平均气温日数分布 阎良机场10 a夏季日平均气温>30.0℃的日数共有141 d,占夏季日历总日数的15.3%,且均出现在30.1~35.0℃的区间。其中,7月最多,达到了66 d;8月次之,为41 d;6月最少,有34 d。日平均气温≥35.1℃的日数为0(表3)。

综上,阎良机场具有>30.0℃、>35.0℃和>40.0℃高温科目试飞的天气条件,但是开展>35.0℃和>40.0℃高温科目试飞天气条件相对稀缺,实施过程中需要准确抓取可试飞时段。

2.3 雷暴

2.3.1 雷暴与不稳定天气的关系 阎良机场2008—2017年夏季发生雷暴97次,观测到积雨云、阵雨169次,即仅有57.4%的不稳定天气过程出现雷暴,有42.6%的不稳定天气过程未出现雷暴,如2014年这一比例高达56.3%(图3)。因此,在试飞过程中,试飞气象保障不仅要捕捉以雷暴为代表的强对流天气,以保障完成探测试飞任务,还需谨防未出现雷暴的不稳定天气过程对试飞质量、效率、进度和安全的影响^[8-10],即当有不稳定天气潜势时,气象保障预警的时间和对策,不能仅以是否出现雷暴为依据。

2.3.2 雷暴次数的年和月分布 阎良机场10 a

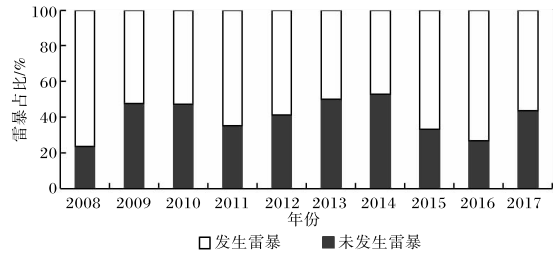


图3 阎良机场2008—2017年不稳定天气发生雷暴占比
夏季发生雷暴的年总次数在7~12次之间,年际变化不大。夏季年雷暴次数各月分布不均,总体呈现出某个月偏多,另外两个月偏少的特点。例如,2010年6月发生雷暴2次,7月未发生,8月共发生9次;2015年6月未发生雷暴,7月发生3次,8月发生5次。夏季各月雷暴次数分布的另一个特点是,夏季3个月雷暴发生次数均较少,且比较接近,例如2013年6、7、8月分别发生雷暴2、4、4次,2017年夏季各月发生雷暴3、3、2次。

从夏季各月雷暴发生次数的年际变化(图4)可以看出,年分布差异较大。其中,8月雷暴发生次数最多年(2010年)与最少年(2014年)相差8次,变化最大。7月雷暴发生次数最多年(2011年)与最少年(2010年)相差7次,变化次之。6月雷暴发生次数最多年(2008年、2016年)与最少年(2015年)相差6次。

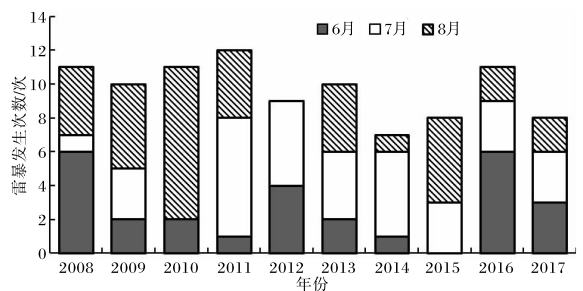


图4 阎良机场2008—2017年夏季雷暴次数月分布

因此,夏季阎良机场有开展探测试飞的天气条件,但实施探测试飞的天气条件在不同月份的优势并不明显。

2.3.3 雷暴次数日分布 阎良机场10 a夏季雷暴发生时间相对比较集中。以2 h为区间统计夏季各时段雷暴发生次数可以看出,16—22时为雷暴的高发时段,该时段10 a夏季共发生雷暴57次,其中,在夜航试飞主要时段的18—22时,10 a

共发生雷暴 42 次。另外,00—02 时为夏季雷暴的又一个高发时段。06—16 时为雷暴少发时段,10 a 夏季仅发生雷暴 14 次,其中,10—14 时发生雷暴 2 次(图 5),与李萍云等^[11]学者对陕西地区短时强降水发生时间的统计结果相一致。从保证探测试飞效率、质量和进度的角度来讲,探测试飞宜选择在午后时段实施,但同时,试飞安全保障的难度亦会显著增加。

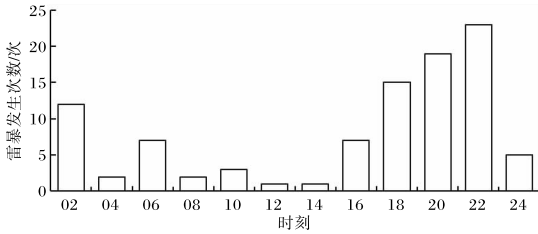


图 5 阎良机场 2008—2017 年夏季各时段发生雷暴次数

2.3.4 雷暴始发方位 阎良机场 2008—2017 年夏季雷暴始发方位有明显的规律。10 a 中夏季自西南顺时针方向至东北的 5 个方位雷暴出现 78 次,占夏季全部雷暴总次数的 80.4%。其中,自西南和西部始发 34 次,占 10 a 夏季雷暴总次数的 35.1%;自北部和东北部始发的雷暴 29 次,占 29.9%。东部、东南和南部雷暴起始发生次数均少于 10 次(图 6)。

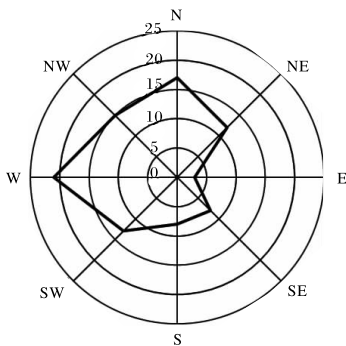


图 6 阎良机场 2008—2017 年夏季各方位雷暴始发次数

因此,探测试飞航线和空域规划及申报,应以西南-西和北-东北方向为主。当然,试飞气象安全保障的重点,也应该放在与之相应的方位。

2.3.5 雷暴持续时间 阎良机场 10 a 夏季雷暴持续时间差别比较大,时间最短的仅闻雷一声,例如 2013 年 8 月 7 日;最长的可达 341 min,出现在 2012 年 6 月 19 日。统计雷暴持续时间在不同区

间出现次数发现,阎良机场 10 a 夏季雷暴持续时间 ≤ 60 min 的有 44 次,占总次数的 45.3%;在 61~120 min 的 30 次,占总次数的 30.9%;超过 120 min 的 23 次,占总次数的 23.7%(表 4)。考虑探测试飞的飞行程序、数据采集时长和参试飞机留空有效时间等因素,雷暴持续时间介于 31~120 min 的对流天气,较适宜作为探测试飞的天气目标。也就是说,阎良机场夏季有 52.5% 的雷暴天气可以满足探测试飞的天气条件。

表 4 阎良机场 2008—2017 年夏季雷暴持续时间分段统计

持续时间/min	≤ 30	31~60	61~90	91~120	>120
出现次数/次	21	23	16	14	23
占比/%	21.6	23.7	16.5	14.4	23.7

2.3.6 雷暴大风 阎良机场 10 a 夏季共发生平均风速 ≥ 8 m/s 的雷暴大风 15 次,占夏季雷暴总次数的 15.5%,其中,有 2 次为 45° 侧风,有 8 次为 90° 侧风。雷暴大风平均最大风速 ≥ 12 m/s 的有 9 次,其中,有 2 次平均最大风速 ≥ 15 m/s;瞬时最大风速 ≥ 17 m/s 有 6 次,其中,有 4 次瞬时最大风速 ≥ 20 m/s。雷暴大风持续时间规律性较差,最长的持续时间长达 209 min,出现在 2016 年 8 月 25 日;最短的为瞬时大风,出现在 2016 年 6 月 4 日、6 月 5 日和 6 月 13 日(表 5—表 7)。因此,在探测试飞过程中,气象保障同时需防范雷暴大风及侧风对试飞质量、效率、进度和安全的影响。

2.3.7 雷暴天气监测预警 雷暴天气一方面会对试飞安全、质量、效率和进度产生威胁和影响,另一方面,又是难得的试飞天气条件^[1]。通过对 10 a 阎良机场地面气象观测和西安、宝鸡、延安多普勒天气雷达探测资料分析总结^[12],形成了阎良机场试飞准备和试飞实施阶段雷暴天气实时监测预警对策(表 8),在 2018—2020 年夏季试飞气象保障中,发挥了重要作用。

3 结论与讨论

(1) 阎良机场 2008—2017 年夏季月平均降水量为 76.8 mm,6 月月平均降水量较夏季月平均降水量少 20 mm,7 月和 8 月月平均降水量均较

表5 阎良机场2008—2017年夏季雷暴大风各等级风速出现次数

风速	平均风速/(m/s)			瞬时风速/(m/s)		
	≥8	≥12	≥15	≥12	≥17	≥20
出现次数/次	15	9	2	13	6	4

表6 阎良机场2008—2017年夏季雷暴大风各风向出现次数

风向/方位	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
出现次数/次	1	3	0	3	1	2	0	5

表7 阎良机场2008—2017年夏季雷暴大风持续时间的出现次数

持续时间/min	≤10	11~30	≥31
出现次数/次	6	2	7

表8 阎良机场试飞准备及实施阶段雷暴天气多普勒天气雷达实时监测预警对策

对流天气路径	回波强度/dBz	雷达回波距离机场距离/km		
		100~200	50~100	≤50
西路	30~35	建议飞机侦察天气	建议飞机侦察天气	推迟进场或起飞
	36~40	建议飞机侦察天气	监视天气调整飞行	召回飞机上空飞行
	41~45	监视天气调整飞行	推迟进场或起飞	推迟进场或起飞
	≥46	推迟进场或起飞	召回飞机上空飞行	召回飞机立即降落
西北路	30~35	建议飞机侦察天气	建议飞机侦察天气	推迟进场或起飞
	36~40	建议飞机侦察天气	监视天气调整飞行	召回飞机上空飞行
	41~45	监视天气调整飞行	推迟进场或起飞	推迟进场或起飞
	≥46	监视天气调整飞行	召回飞机上空飞行	召回飞机立即降落
南路	30~35	建议飞机侦察天气	建议飞机侦察天气	推迟进场或起飞
	36~40	建议飞机侦察天气	监视天气调整飞行	召回飞机上空飞行
	41~45	监视天气调整飞行	推迟进场或起飞	推迟进场或起飞
	≥46	监视天气调整飞行	召回飞机上空飞行	召回飞机立即降落
东北空域	30~35	建议飞机侦察天气	建议飞机侦察天气	建议飞机侦察天气
	36~40	建议飞机侦察天气	监视天气调整飞行	监视天气调整飞行
	41~45	监视天气调整飞行	监视天气调整飞行	推迟进场或起飞
	≥46	推迟进场或起飞	推迟进场或起飞	召回飞机上空飞行

夏季月平均降水量多,即逐月月平均降水量呈增加的趋势。从阎良机场夏季月平均降雨量分布角度讲,具有适宜的雨刷功能和湿跑道科目试飞天气条件,平均可飞天气条件逐月增加。

(2)阎良机场2008—2017年夏季降水日共计371 d,占夏季总日数的40.3%。其中:小雨占降水总日数的47.4%,7月最多,6月和8月相近;

中雨占降水总日数的13.2%,7月最多,8月次之,6月最少;大雨占降水总日数的6.7%,8月最多,6月和7月接近。因此,阎良机场在夏季开展雨刷功能和湿跑道科目试飞均有适宜的天气条件,可试飞日数均为7月最多,6月和8月次之。

(3)阎良机场夏季具有一定的开展气温>30℃、>35.0℃和>40.0℃高温科目试飞的

天气条件,可以作为高温科目试飞的场址,其中,7月的可试飞日数最多,6月次之,8月相对较少。开展气温 $>35.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $>40.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温科目试飞天气条件相对稀缺,应优先抓取7月和6月的试飞“窗口”,实施过程中需要准确抓取可试飞时段。

(4)阎良机场2008—2017年夏季有57.4%的不稳定天气过程出现雷暴。因此,在试飞过程中,试飞气象保障不仅要捕捉以雷暴为代表的强对流天气,以保障完成探测试飞任务;同时,还需防范未出现雷暴的不稳定天气过程对试飞质量、效率、进度和安全的影响。

(5)阎良机场夏季雷暴天气的始发高峰时段在16—22时,探测试飞宜安排在午后至傍晚时段实施;探测试飞航线和空域规划及申报,应以雷暴始发次数相对较多的西南-西和北-东北方向为主;试飞气象安全保障的重点,也应该放在与之相应的时段和方位,同时要防范雷暴大风及侧风对试飞质量、效率、进度和安全的影响。

(6)通过分析总结阎良机场夏季地面气象观测和西安、宝鸡、延安多普勒天气雷达探测资料,形成了试飞准备和实施阶段雷暴天气多普勒天气雷达实时监测预警对策,在2018—2020年夏季试飞气象保障中,发挥了重要作用。面向夏季试飞任务对气象条件的需求,以及试飞气象保障面临的挑战,气象保障部门按照规范的流程作业,是确保试飞安全、保证试飞质量、提升试飞效率、保障试飞进度的基础。

参考文献:

- [1] 郭彬,倪洪波,张莹,等. 阎良机场气象探测试飞天气条件研究[J]. 陕西气象,2017(5):30-33.
- [2] 杜继稳,侯明全,梁生俊,等. 陕西省短期天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版社,2007:22.
- [3] 降雨量等级标准:GB/T 28592—2012 [S]. 北京:中国标准出版社,2012.
- [4] 李红梅,王宇亮,雷向杰,等. 近44年关中夏季分级雨日及降水量的变化特征[J]. 中国农业资源与区划,2017,38(8):64-72.
- [5] 程肖侠,蔡新玲,李明,等. 陕西省高温时空变化特征及其定量化评估方法[J]. 干旱区研究,2020,37(4):956-965.
- [6] 屈丽玮,徐娟娟,朱庆亮,等. 2017年陕西高温事件的大气环流异常及成因[J]. 陕西气象,2018(5):13-16.
- [7] 庞文保,李建科,宋鸿,等. 陕西省高温气象风险区划及其防御[J]. 陕西气象,2011(2):47-48.
- [8] 王秀明,俞小鼎,周小刚. 雷暴潜势预报中几个基本问题的讨论[J]. 气象,2014,40(4):389-399.
- [9] 陈小婷,赵强,刘瑞芳,等. 关中一次阵风锋触发的强对流天气分析[J]. 陕西气象,2019(5):6-11.
- [10] 彭力,徐浩天,刘嘉慧敏,等. 西北涡作用下陕西一次强降水过程成因分析[J]. 陕西气象,2020(5):1-5.
- [11] 李萍云,赵强,王楠,等. 2005—2018年陕西短时强降水时空分布特征[J]. 陕西气象,2019(5):34-39.
- [12] 赵畅. 多普勒雷达及多源资料在局地短临预报中的应用[D]. 南京:南京信息工程大学,2014.