

文章编号:1674-8190(2019)S1-019-06

侧风下直升机水上迫降模型试验研究

焦俊,魏飞,王明振,孙丰

(中国特种飞行器研究所 高速水动力航空科技重点实验室,荆门 448035)

摘要: 研究侧风对直升机水上迫降性能的影响具有重要的意义,开展侧风环境模拟技术研究和模型着水试验,研究风扇桨叶角、风扇间距对侧风风速的影响以及侧风风速对直升机模型姿态角、过载和底部压力的影响。结果表明,风扇采用 18°桨叶角方案比采用 15°或 20°桨叶角方案更优;风扇间距比为 1.66 时侧风风速分布均匀;有侧风时,对模型俯仰角几乎没有影响,横滚角幅值较大且难以稳定;随着侧风速度增大,重心过载逐渐增大、对称面和近侧风端的底部压力增大、远离侧风端的底部压力减小。

关键词: 直升机;水上迫降;侧风;水载荷

中图分类号: V323

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2019.S1.004

Model Experimental Study on the Helicopter Ditching with Crosswind

Jiao Jun, Wei Fei, Wang Mingzhen, Sun Feng

(Key Aviation Scientific and Technological Laboratory of High Speed Hydrodynamic,
AVIC Special Vehicle Research Institute, Jingmen 448035, China)

Abstract: Investigating the effect of crosswind on helicopter ditching performance is of significance, designing of a crosswind-fan system and ditching experiment of a helicopter model are conducted. The effect of blade angle and distance between fans on crosswind velocity is investigated. And then the effect of crosswind velocity on attitude angle, overload and bottom-pressure of the helicopter model is also studied. The results show that, the blade angle of 18 degree is better than 15 degree and 20 degree. The crosswind velocity distribution is uniform when L/D equals 1.66. The crosswind is of little effect on pitch angle but makes the roll angle amplitude larger and more difficult to be stabilized. When the crosswind velocity increases, the overload, the bottom-pressure at the plane of symmetry and near crosswind-fan system increases, but the bottom-pressure far from crosswind-fan decreases.

Key words: helicopter; ditching; crosswind; water load

0 引言

随着直升机使用范围的推广,在海上使用直升机来巡逻、救援的情况越来越多。当直升机出现故障时,就需要在海面进行水上迫降,机身结构强度需要满足水上迫降的需要。国家军用标准^[1]、民用

航空规章第 27 部^[2]和第 29 部^[3]均要求,水上迫降时浮筒产生的恢复力矩平衡由侧风、水波作用等产生的倾覆力矩,在没有已知构形相似的旋翼航空器进行比较时,必须通过模型试验^[4]来检查直升机在水上降落时可能的运动和姿态以及过载,作为检验结构强度设计和验证的输入。国内外研究人员在

收稿日期:2019-01-25; 修回日期:2019-03-04

通信作者:焦俊,312612182@qq.com

引用格式:焦俊,魏飞,王明振,等. 侧风下直升机水上迫降模型试验研究[J]. 航空工程进展, 2019, 10(增刊 1): 19-23.

Jiao Jun, Wei Fei, Wang Mingzhen, et al. Model experimental study on the helicopter ditching with crosswind[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2019, 10(S1): 19-23. (in Chinese)

研制直升机时均开展了大量的水上迫降研究。国外在研制“鱼鹰”^[5]、“贝尔 206A”^[6]和“EH101”^[7]时均开展了水上迫降模型试验研究,测试迫降瞬间机身的过载以及底部压力随时间历程;国内高速水动力航空科技重点实验室也开展了大量的试验研究:李名琦^[8]开展了 K-28 模型水上迫降模型试验;侯斌^[9]开展了 X 直升机水上迫降及漂浮试验,研究并验证数值技术模拟漂浮特性过程的方法;汪正中^[10]开展了直升机水上迫降试验技术研究,研究直升机水上迫降模型试验技术。由于技术条件限制,国内外开展的模型试验都是在无风的情况下完成,然而实机水上迫降海域受侧风的作用,着水时直升机受到侧风引起的倾覆力矩甚至存在短时间发生侧翻的可能,导致乘员逃生困难,目前没有成熟的理论或数值计算方法,需要开展模型试验研究侧风作用下的直升机滑水稳定性和着水载荷特性,试验结果可以为侧风下直升机水上迫降性能分析方法提供依据。

以此为背景,本文介绍侧风环境模拟技术、直升机模型参数以及试验工况,对比侧风和无风时模型着水载荷结果。

1 侧风环境模拟技术

侧风装置采用多单元风机布局,风机采用 295 mm 直径涵道风扇,通过调整风扇桨叶角和风机间距,找出较优的方案,实现侧风环境模拟高精度、高可靠性,侧风装置如图 1 所示。

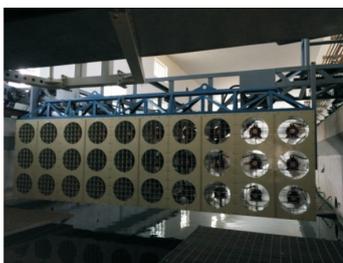


图 1 侧风装置图

1.1 风扇桨叶角优化

对 15°、18°和 20°桨叶角的风扇、不同转速时的电流和风速进行测试,如图 2~图 3 所示,可以看出:随着桨叶角增大,风速和电流增大;桨叶角由 15°变为 18°时,风速增加幅度大、电流增加幅度小;当桨叶角由 18°变为 20°时风速增加小、电流增加

大,较大的电流会给电机带来较大的负载,不利于风机长时间稳定运行,因此风机桨叶角选择 18°。

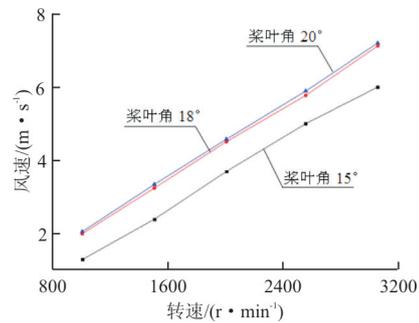


图 2 不同桨叶角时风速曲线

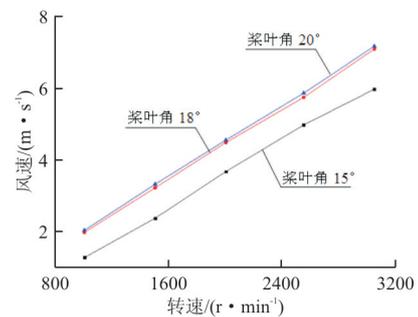


图 3 不同桨叶角时电流—转速曲线

1.2 风机间距优化

使用风速仪测试 4 组不同风机间距比(风扇中心距 L 与风扇直径 D 的比值,即 L/D)、4 个测试点($I_1 \sim I_4$)的风速,如表 1 和图 4 所示。

表 1 风扇间距比测试工况

工况	风扇间距比(L/D)	工况	风扇间距比(L/D)
1	1.33	3	2.00
2	1.66	4	2.33

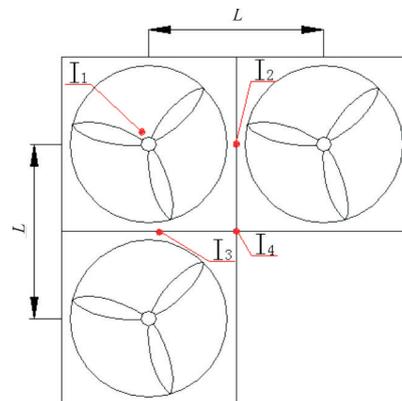


图 4 风速测试点布置图

测试单个风机风速,风扇转速在 2 000 r/min 时,风速在 4 m/s 附近波动,开展风机间距比对风速影响时采用 2 000 r/min 的转速。

不同间距比风速分布曲线如图 5 所示。

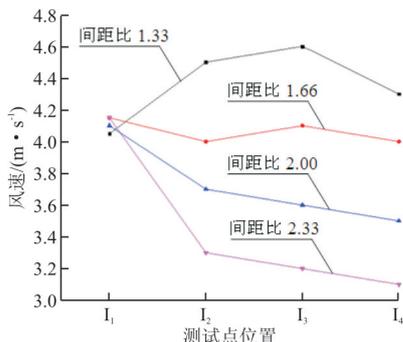


图 5 不同间距比风速曲线

从图 5 可以看出:间距比 $L/D=1.66$ 时各测试点风速分布均匀,在 4 m/s 附近波动;间距比 $L/D=1.33$ 时两风机间的风速大于 4 m/s;间距比 L/D 为 2.00 和 2.33 时两风机间的风速小于 4 m/s。本次试验侧风装置风机间距比选择 1.66。

2 模型着水试验

2.1 试验模型

水上迫降试验模型原型为 AC313 直升机,缩尺比为 1:8,模型的几何尺寸、重量重心和惯量与实机保持傅汝德相似。

为了测试着水时模型的姿态、过载和底部压力变化,在重心处布置 1 个陀螺仪、1 个过载传感器,机身底部布置 3 个压力传感器,压力传感器布置如图 6 所示。

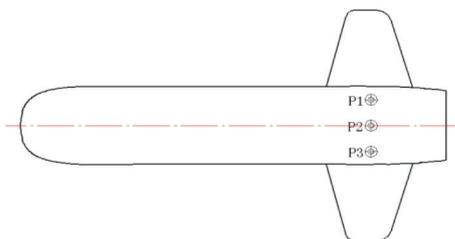


图 6 底部压力传感器布置图

2.2 试验内容

本次试验研究选取俯仰角 8° 、横滚角 0° 、偏航 0° 、前飞速度 5.44 m/s、下沉速度 0.53 m/s 作为

初始状态进行试验,侧风工况如表 2 所示。

表 2 侧风工况列表

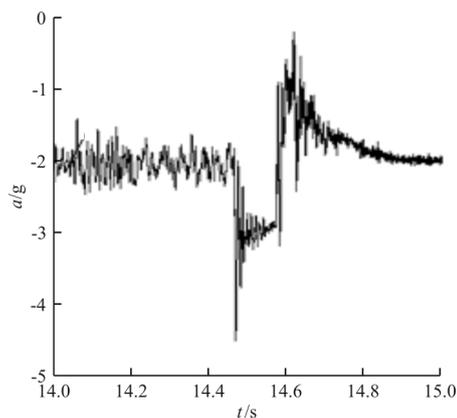
工况	侧风速度/($m \cdot s^{-1}$)	工况	侧风速度/($m \cdot s^{-1}$)
1	0	3	4
2	3	4	5

3 试验结果

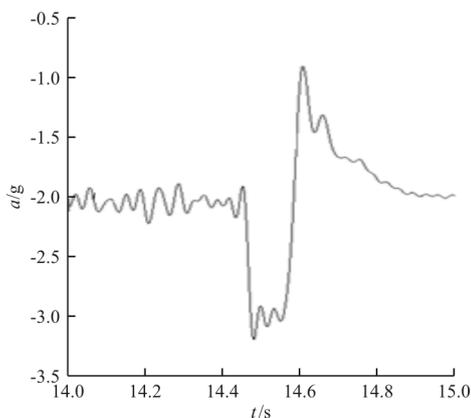
试验完成后,对直升机模型着水瞬间的姿态过载、底部压力进行滤波处理,得到各参数随时间历程曲线,分析侧风对模型着水瞬间姿态、过载和底部压力的影响。

3.1 试验数据的处理

水上迫降模型试验具有过载时间短、传感器响应频率高,容易受到测试电流电磁信号干扰,导致测试数据毛刺较多,需要对所采集数据进行低通滤波处理,如图 7 所示。



(a) 滤波前



(b) 滤波后

图 7 滤波前后对比图

滤波频率的确定是通过傅汝德变换,进行频域分析,然后通过频率谱选择信号输出的特征频率范围,从而确定滤波频率。

工况 1 重心垂向过载曲线傅里叶变化图如图 8 所示,选择载荷能量集中分布区的上限频率作为滤波频率,本次滤波频率为 50 Hz。

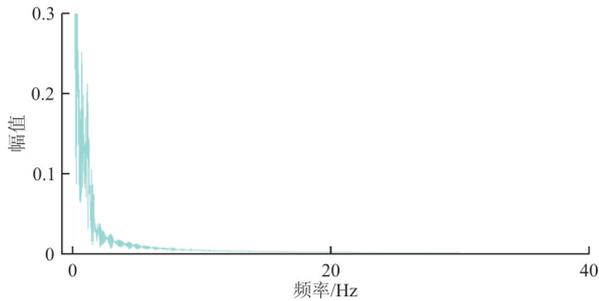


图 8 过载傅里叶变换图

3.2 着水瞬间运动分析

模型由电磁钩起吊,在拖车速度达到指定速度时打开电磁钩,模型经历自由落体—着水状态。模型着水后,首先,由于水动力作用使底部受到水面砰击产生反作用力,带来较大的砰击加速度;而后由于底部受到砰击的分布不平衡,以及模型在短暂的滑水阶段产生尾部吸力,导致模型姿态角变化,具体如图 9 所示。

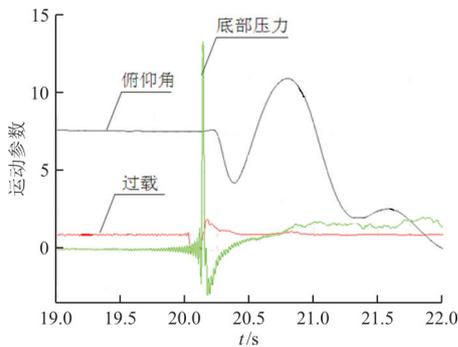


图 9 运动参数随时间历程曲线

3.3 侧风对姿态的影响

侧风下模型俯仰角随时间历程曲线如图 10 所示。由于初始角度的存在,着水瞬间模型先有一个较大的低头,而后在水动力作用下产生迅速抬头。不同侧风状态下,模型俯仰角峰值基本一致,侧风风速的变化未对模型俯仰姿态产生影响。

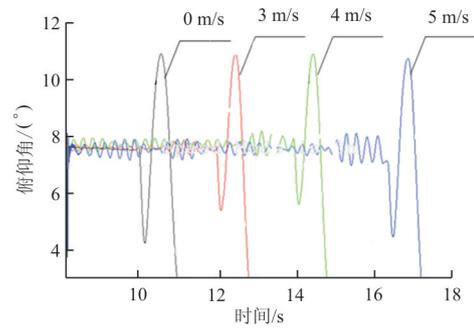


图 10 俯仰角随时间历程曲线

侧风下模型横滚角随时间历程曲线图如图 11 所示,可以看出:无侧风时模型着水瞬间随着侧风速度增大,着水后模型最大横滚角依次增大,且横滚方向难以稳定。

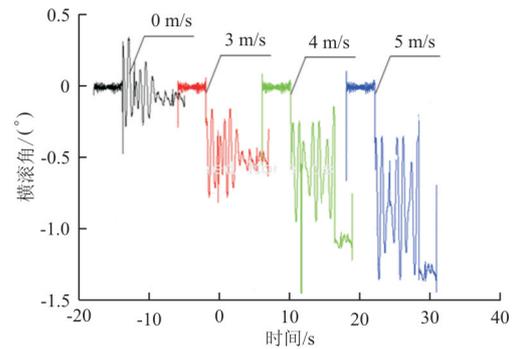


图 11 横滚角随时间历程曲线

3.4 侧风对过载的影响

侧风下重心垂向过载随时间历程曲线如图 12 所示,可以看出:随着侧风速度增大,垂向过载依次增大。

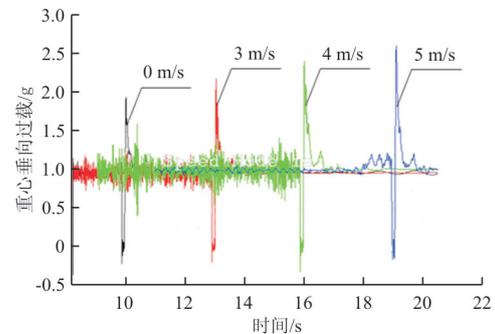


图 12 重心处垂向过载随时间历程曲线

侧风下重心横向过载随时间历程曲线如图 13 所示,可以看出:随着侧风速度增大,横向过载依次增大,由于在侧风作用下模型在着水瞬间存在横滚

角带来了一定的横向加速度。

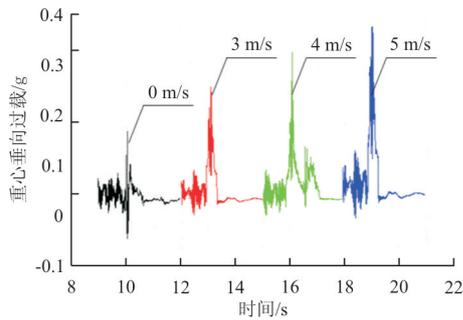


图 13 重心处横向过载随时间历程曲线

3.5 侧风对底部压力的影响

不同测试点位置的底部压力随风速变化曲线如图 14 所示,可以看出:在无侧风时,P2 取得最大值,P1、P3 传感器对称安装,二者取值相近;有侧风时,随着侧风速度的提高,P1 和 P2 压力值逐渐增大,而 P3 越来越小。分析发现,在侧风作用下模型向右滚转,P1 浸水深度增大、压力值较大,而 P3 浸水深度减小、压力值减小。

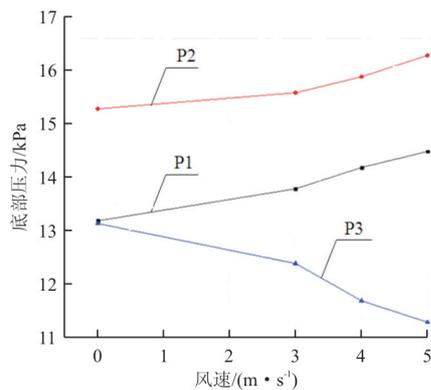


图 14 压力随风速变化曲线

4 结 论

(1) 桨叶角增大时风速和电流增大,风扇采用 18° 桨叶角方案比采用 15° 或 20° 桨叶角方案更优;

(2) 风扇间距比为 1.66 时风阵各测试点风速波动较小,风扇间距比增大或减小,风阵各测试点风速变化较大;

(3) 侧风对着水后模型俯仰角变化影响较小,但会产生横倾力矩使模型发生横倾,模型需要更长的时间才能稳定;

(4) 随着风速的增大,模型重心过载峰值逐步增大,对称面和靠近风机端的底部压力值逐步增大,而远离风机端的底部压力值逐步减小。

(5) 通过开展侧风环境模拟技术研究及水上迫降模型试验研究,为后续开展侧风作用下直升机水上迫降取证积累了技术经验,是对 27 部、29 部直升机水上迫降性能评估的补充,能为直升机结构强度设计和验证提供更有力的支撑。

参考文献

- [1] 军用直升机强度和刚度规范编制组. 军用直升机强度和刚度规范使用说明[M]. 北京: 航空工业出版社, 1990: 10-30.
- [2] 中国民用航空总局. CCAR27-R1-88, 中国民用航空规章第 27 部[S]. 北京: 中国民用航空总局, 2002: 18-20.
- [3] 中国民用航空总局. CCAR27-R1-88, 中国民用航空规章第 29 部[S]. 北京: 中国民用航空总局, 2002: 24-26.
- [4] 郑作棣. 运输类飞机适航标准技术咨询手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 1995: D-106.
- [5] Streckwall H, Lindenau O, Bensch L. Aircraftdithing: A free surface/free motion problem[J]. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2007, 7(3): 177-190.
- [6] Brooks J R, Anderson L A. Dynamics of spacemodule impacting water[J]. Journal of spacecraft and rockets, 1994, 31(3): 509-515.
- [7] Groenenboom P H L, Cartwright B K. Hydrodynamics and fluid-structure interaction by coupled SPH-FE method[J]. Journal of Hydraulic Research, 2010, 48(1): 61-73.
- [8] 李名琦. 应急气囊着水冲击特性的试验研究与数值分析[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- [9] 侯斌. 波浪对直升机应急漂浮系统稳定性的影响[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.
- [10] 汪正中, 陈立霞, 索谦. 直升机着水载荷试验研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2017, 49(2): 258-263.

作者简介:

焦俊(1988-),男,学士,工程师。主要研究方向:水动性能。

魏飞(1982-),男,学士,高级工程师。主要研究方向:水动性能测试。

王明振(1984-),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:水动性能。

孙丰(1988-),男,硕士,工程师。主要研究方向:水动性能。

(编辑:赵毓梅)