

DOI:10.16356/j.1005-2615.2015.02.020

运输类飞机阵风载荷与机动载荷识别算法

闫楚良 杜晓坤 李五一 刘力宏

(北京飞机强度研究所,北京,100083)

摘要:针对运输类飞机的飞行特点,基于姿态角和相关重心过载参数变化,提出了运输类飞机的阵风与机动载荷识别算法。利用 Matlab 进行算法编程,通过实测载荷数据实例,验证了该算法的有效性,为新机结构可靠性设计和全尺寸疲劳试验提供了参考数据。

关键词:运输类飞机;阵风载荷;机动载荷;识别;疲劳可靠性

中图分类号:V215.5;TH114 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2615(2015)02-0308-06

Distinction Algorithm Between Gust Load and Maneuver Load of Transport Aircraft

Yan Chuliang, Du Xiaokun, Li Wuyi, Liu Lihong

(Beijing Aircraft Strength Institute, Beijing, 100083, China)

Abstract: According to the flight characteristics of the transport aircraft, an algorithm for distinction between gust load and maneuver load is proposed based on the changes of attitude angle and load factor. The results of running the algorithm in Matlab show the effectiveness of the algorithm, which provides a reference basis for transport aircraft reliability design and full scale fatigue test.

Key words: transport aircraft; gust load; maneuver load; distinction; fatigue reliability

飞机飞行时所承受的载荷一般分为两类:机动载荷和阵风载荷。机动载荷是驾驶人员操作引起的载荷,它与飞行科目、飞行机动性能、飞机使用情况、飞行训练大纲以及驾驶人员的经验有很大关系^[1]。阵风载荷是飞机在不平稳大气中飞行,由扰动气流而引起的载荷,这种载荷环境与飞机本身无关。对强击型、歼击型和教练类飞机而言,由于此类飞机在飞行中机动动作多,动作量大,动作频繁,动作幅度变化大且变化剧烈,因此机动载荷是造成其疲劳损伤的主要原因,相对而言对阵风载荷不够敏感。而运输类飞机在飞行过程中主要承受着地-空-地载荷,因此,对阵风载荷造成的疲劳损伤极为敏感^[2-6]。对运输类飞机而言,机动载荷谱和阵风载荷谱是飞机结构寿命可靠性设计的重要科学依据。而在飞机

实际飞行过程中,阵风载荷和机动载荷往往是叠合在一起的,不容易进行区分识别。赖特空气开发部提出“两秒准则”,即认为持续时间大于两秒的过载是由操纵系统引起的,持续时间小于两秒的过载是由阵风产生的;美国联邦航空管理局和 NASA 提出了用倾斜角区分阵风载荷与机动载荷的方法;荷兰国家航空航天实验室提出用倾斜角以及俯仰角区分阵风载荷和机动载荷,但是并没有给出具体的方法^[7-8]。本文提出了一种阵风与机动时段识别方法,在阵风与机动时段内对机动载荷与阵风载荷分别进行雨流法统计计数^[9],并通过 Matlab 进行算法编程,利用某型飞机的实测载荷数据进行算法的优化和检验,验证了该算法的实用性,对飞机结构可靠性设计和全尺寸疲劳试验的阵风载荷谱与机动载荷谱

基金项目:国家自然科学基金(50135010)资助项目。

收稿日期:2014-11-24;**修订日期:**2014-12-29

通信作者:闫楚良,研究员,博士生导师,E-mail:yancel@sina.com。

的确定具有参考意义^[10-11]。

1 阵风载荷与机动载荷识别算法

1.1 阵风载荷与机动载荷识别准则

飞机的任何动作可以分为 3 个基本动作:滚转、偏转和俯仰。因此可通过滚转角、偏航角和俯仰角 3 个姿态角来判断是否有机动动作产生。而 3 个基本动作依次由飞行员通过操纵副翼、方向舵和升降舵 3 个主操纵面来产生。故此,机动载荷变化一般比较缓慢,并会持续一段时间。相反,阵风载荷变化较为剧烈,时间相对短促^[12-14]。

根据阵风载荷与机动载荷变化特点,在实测数据处理时,阵风载荷与机动载荷判断条件为:

(1)以 3 个姿态角为主要判断依据,对于飞机不同飞行载荷参数,阵风与机动载荷识别时所采用的姿态角不同。如偏航角的变化主要引起飞机水平方向载荷变化,飞机法向过载对偏航角的变化并不敏感,因此法向过载参数机动判断依据俯仰角和倾斜角。而俯仰角的变化主要引起飞机的法向载荷变化,故侧向过载机动判断依据偏航角和倾斜角。

(2)若相应的姿态角幅值超过指定的角度,即角度阈值,可认定可能存在机动动作。

(3)阵风载荷变化剧烈,而机动载荷变化相对平缓。故姿态角变化持续时间大于指定时间,即时间阈值,可认为存在机动动作。

根据机动载荷与阵风载荷判断条件,在具体处理时,首先确定一个截止角度,将姿态角幅值大于截止角度的区域找出,若该区域存在大于角度阈值的时刻且所经历的时间大于时间阈值,则该区域为机动时段。其余区域认定为阵风时段。如对某机型而言,截止角度为 2° ,角度阈值为 4° ,时间阈值为 5 s,即某姿态角幅值超过 4° 便判定可能存在机动动作,故将姿态角从大于 2° 开始到小于 2° 结束为止的时段找出,如图 1 中的 AB 点间的时段。若该时段持续时间大于时间阈值,即可判定该时段为机动时段。

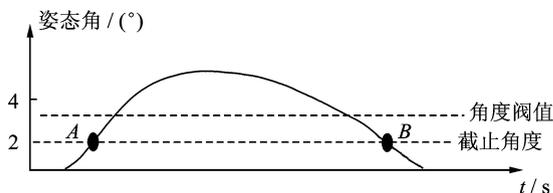


图 1 时段模型

Fig. 1 Model of time period

阵风时段与机动时段识别流程如图 2 所示。图 2 中, α 为角度阈值; β 为截止角度; δ 为姿态角

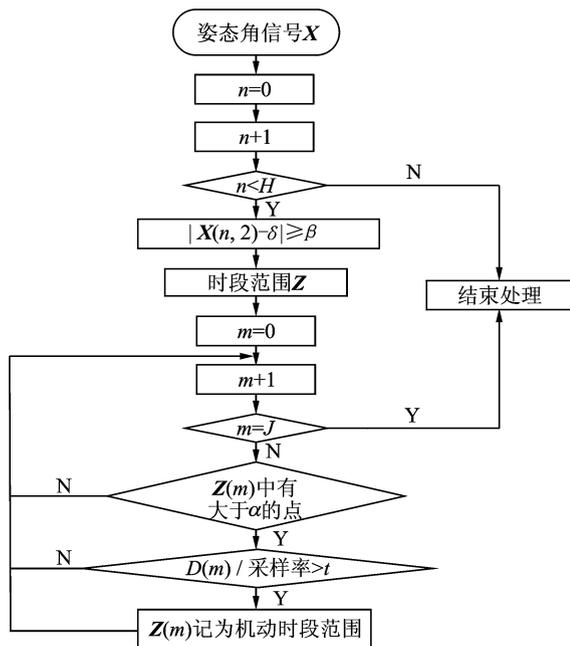


图 2 阵风时段与机动时段识别流程图

Fig. 2 Flow chart of distinction between gust and maneuver time periods

均值; t 为时间阈值; H 为采样点个数; J 为时段个数; X 为姿态角实测信号,是一个 $H \times 2$ 的二维矩阵。 X 的第一列 $X(:, 1)$ 存放采样记录号,第二列存放各采样点对应的数值

$$X(:, 1) = [1 \ 2 \ 3 \ \dots \ H]^T \quad (1)$$

$$X(:, 2) = [x(1) \ x(2) \ x(3) \ \dots \ x(H)]^T \quad (2)$$

式中: $x(i)$ 为第 i 个采样点对应的数值。

时段 Z 为一个一维矩阵。 Z 中包含 J 个机动时段

$$Z = [z\{1\} \ z\{2\} \ z\{3\} \ \dots \ z\{J\}]^T \quad (3)$$

式中: $z\{j\}$ 为第 j 个机动时段,是一个 1×2 的一维矩阵, $z\{j\}(1)$ 为起始点, $z\{j\}(2)$ 为终止点。

$D(m)$ 为 Z 中第 m 个时段的大小,即 $z\{m\}$ 中终止点与起始点之差

$$D(m) = z\{m\}(2) - z\{m\}(1) \quad (4)$$

在判断是否大于时间阈值时,需将时段转化为时间单位秒来计算,即

$$D(m) / \text{采样率} > t \quad (5)$$

通过以上流程可将如图 3 所示的俯仰角波形划分出来。

1.2 阵风载荷与机动载荷雨流计数统计

为了将阵风载荷与机动载荷区分出来,本文对阵风载荷与机动载荷分别进行雨流法计数。在阵风时段内的载荷循环计入阵风载荷。在一个机动时段内若有多个有效峰谷值,根据阵风载荷往往叠

度为 1°,选取 5 s 为时间阈值。滚转角实测信号如图 8(a)所示。时段划分结果如图 9 所示。

图 7 中,两条虚线之间和两条实线之间为机动时段,虚线与实线之间为阵风时段。由图 7(b)飞

行高度曲线可以看出,基于俯仰角变化的机动时段对应的时刻,飞机基本处于爬升或下降阶段,有长时间的高度变化,这表明识别的机动时段为明显的飞行员操纵时段,且识别结果准确可靠。

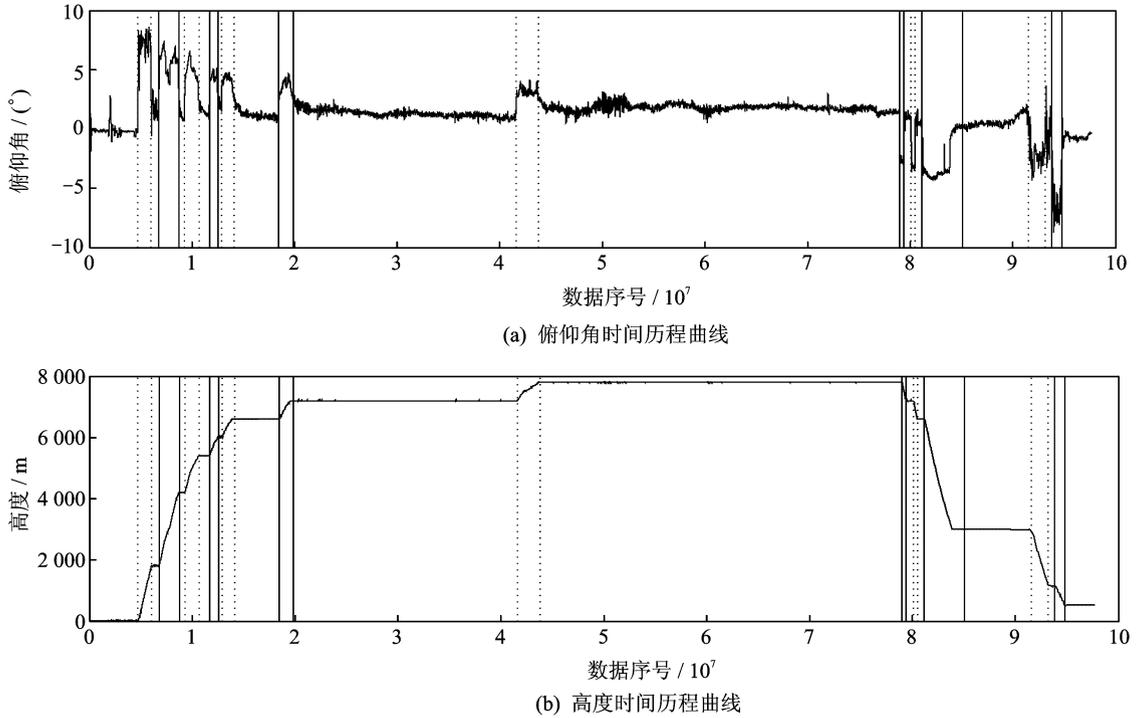


图 7 基于俯仰角变化的机动与阵风时段划分结果以及与高度曲线的对比

Fig. 7 Distinction between gust load and maneuver load based on pitch angle, and comparison result of height curve

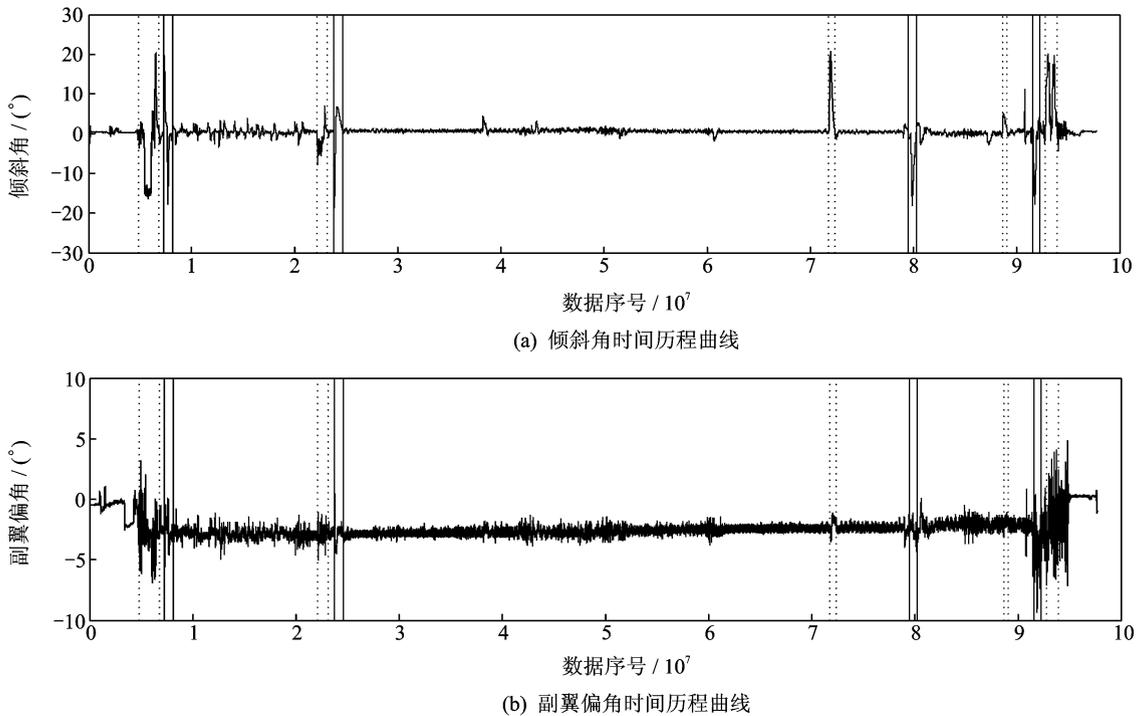


图 8 基于倾斜角变化的机动与阵风时段划分结果以及与副翼偏角曲线的对比

Fig. 8 Distinction between gust load and maneuver load based on roll angle, and comparison result of aileron deflection curve

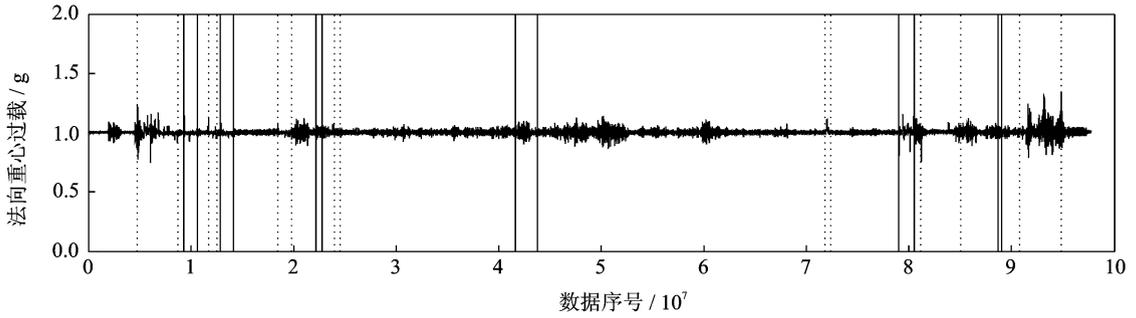


图9 时段划分结果

Fig.9 Distinction of time period

图8中,两条虚线之间和两条实线之间为机动时段,虚线与实线之间为阵风时段。由图8(b)副翼偏角曲线可以看出,基于倾斜角变化的机动时段对应的时刻,飞机的副翼操纵面有较为明显的角度变化,这表明识别的机动时段为人工控制操纵面实现的倾斜角变化,且识别结果准确。

图9中,两条虚线之间和两条实线之间为机动时段,虚线与实线之间为阵风时段。根据时段划分结果,对机动与阵风引起的法向重心过载分别进行雨流统计计数。表1,2分别为机动载荷和阵风载荷统计计算结果。

表1 机动载荷统计计数结果

Tab.1 Maneuvering load counting results

S_a	S_m							
	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.30
0.015	0	1	3	0	0	4	0	0
0.045	0	0	0	2	0	0	0	0
0.075	0	1	0	7	50	0	1	0
0.105	1	0	0	4	4	0	0	1
0.135	0	1	0	4	5	1	0	0
0.165	0	0	0	2	4	1	0	0
0.195	0	0	0	3	0	0	0	0
0.225	0	0	0	1	0	0	0	0
0.255	0	0	0	0	1	0	0	0

表2 阵风载荷统计计数结果

Tab.2 Gust load counting results

S_a	S_m							
	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.25	1.35
0.015	0	0	2	0	0	3	0	1
0.045	0	1	0	1	0	0	1	0
0.075	1	0	0	68	165	4	0	0
0.105	0	0	0	27	35	1	0	0
0.135	0	0	0	7	13	3	0	0
0.165	0	0	0	3	4	1	0	0
0.195	0	0	0	3	0	0	0	0
0.225	0	0	0	2	1	0	0	0
0.255	0	0	0	0	0	1	0	0

由表1,2可知,运输类飞机机动载荷较小,而其受到的阵风载荷相对于机动载荷更多,说明运输类飞机机动动作相对平缓,并没有很大的机动动作,主要受到地-空-地载荷,对阵风载荷更为敏感。

3 结 论

(1)提出了运输类飞机的阵风与机动载荷识别算法,并采用 Matlab 进行了算法编程实现。该算法可以有效地进行阵风与机动载荷区分,为运输类飞机结构可靠性设计和全尺寸疲劳试验的阵风载荷谱与机动载荷谱的确定提供了数据基础。

(2)运输类飞机的阵风与机动载荷识别算法通过实例验证,结果表明该算法准确有效。

(3)该算法进行阵风与机动载荷识别时采用的姿态角与重心过载参数的记录,不需要对飞机加装额外专用设备,可应用于普通军用与民用飞机,具有广泛的适用性。

参考文献:

[1] 闫楚良. 飞机载荷谱实测技术与编制原理[M]. 北京: 航空工业出版社, 2010.
Yan Chuliang. The measurement technique and establishment principle of aircraft load spectrum [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2010.

[2] 姚卫星, 孙文, 薛济坤. 基于物理原型的结构疲劳寿命评估方法[J]. 南京航空航天大学学报, 2014, 46(3): 5-10.
Yao Weixing, Sun Wen, Xue Jikun. Physical prototype centered assessment for fatigue life of structure [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2014, 46(3): 5-10.

[3] 刘文琰. 结构可靠性手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
Liu Wenting. Structural reliability handbook [M]. Beijing: Nation Defense Industry Press, 2008.

- [4] Xu Xiaoping, Zhu Xiaoping, Zhou Zhou, et al. Application of active flow control technique for gust load alleviation [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2011,24(4):410-416.
- [5] Hoblit F M. Gust loads on aircraft: concepts and applications[M]. [S. l.]: American Institute of Aeronautics & Astronautics, 1998.
- [6] 闫楚良,刘克格.飞机结构经济寿命可靠性设计与评定[J].振动、测试与诊断,2012,32(3):355-363.
Yan Chuliang, Liu Kege. Reliability design and economic life assessment of aircraft structures[J]. Journal of Vibration Measurement & Diagnosis, 2012,32(3):355-363.
- [7] Rustenburg J W, Skinn D, Tipps D O. An evaluation methods to separate maneuver and gust load factors from measured acceleration histories[R]. DOT/FAA/AR-99/14. Springfield, Virginia: NTIS, 1999.
- [8] 蒋祖国,田丁栓,周占廷.飞机结构载荷/环境谱[M].北京:电子工业出版社,2012.
Jiang Zuguo, Tian Dingshuan, Zhou Zhanting. The load spectrum and environmental spectrum of aircraft structure[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012.
- [9] 闫楚良,卓宁生,高镇同.雨流法实时计数模型[J].北京航空航天大学学报,1998,30(5):623-625.
Yan Chuliang, Zhuo Ningsheng, Gao Zhen-tong. Model of rain-flow real-time counting method[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1998,30(5):623-625.
- [10] 刘晓明,万少节,熊峻江,等.民机飞行载荷谱编制方法[J].北京航空航天大学学报,2013,39(5):1-5.
Liu Xiaoming, Wan Shaojie, Xiong Junjiang, et al. New approach for generating flight load spectrum of civil aircraft [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2013,39(5):1-5.
- [11] Yan Chuliang, Liu Kege. Theory of economic life prediction and reliability assessment of aircraft structures[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2011,24(2):164-170.
- [12] Yan Chuliang, Liu Kege. Theory of active reliability-based design for predetermined life of structures[J]. Advanced Materials Research, 2008,44-46:745-750.
- [13] 王细洋.航空概论[M].北京:航空工业出版社,2006:40-54.
Wang Xiyang. Aviation introduction[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2006:40-54.
- [14] Donely P. Summary of information relating to gust load on airplanes[R]. NACA-TR-997, 1950.

