

文章编号:1674-8190(2015)04-485-05

民机不同商载配置对机身着陆载荷的影响分析

金秀芬,于秀伟

(中国商用飞机有限责任公司 上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘要:重量分布和重心位置是影响起落架和机体地面载荷的重要因素,在无穷多种商载分布及装载方案中,挑选出机身载荷的严重情况具有重要的意义。选取部分典型商载配置情况,以刚性机体机身着陆载荷为算例,分析不同商载配置下的机身垂直剪力和垂直弯矩,并针对不同商载重量和分布分别进行对比分析。结果表明:商载重量的大小对机身载荷起了决定性作用;对于最大商载下的几种不同重量分布情况,机身垂直剪力和垂直弯矩量级相当。

关键词:重量分布;商载;燃油;机身;剪力;弯矩

中图分类号: V223

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2015.04.014

Impact Analysis of Different Payload Distribution on Fuselage Landing Loads for Civil Aircraft

Jin Xiufen, Yu Xiuwei

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 201210, China)

Abstract: Mass distribution and center position of gravity of aircraft is one of the important factors on landing gear and airframe ground loads. Finding out the critical load cases of fuselage loads among various payload distribution and loading schemes is of important significance. Several typical payload distributions are selected. Using the rigid body fuselage landing loads as an example, vertical shear and vertical bending moments of fuselage are analyzed. Load comparisons are made for different payload and different mass distribution separately. The results show that the payload mass is of a significant influence on fuselage loads; For different distribution of maximum payload, the vertical shear and vertical bending moments of fuselage are equivalent.

Key words: mass distribution; payload; fuel; fuselage; shear; bending moment

0 引言

飞机从地面机动、起飞到着陆,一直承受着载荷。在飞机的设计过程中,载荷的准确确定对结构减重和保证飞行安全发挥着重要的作用。

重量分布和重心位置是影响起落架和机体地面载荷的重要因素。在CCAR 25.321条款中,规定了载荷计算必须考虑使用限制内可调配载重的任何实际分布情况^[1]。对于民用运输机而言,飞机

设计重量由空机重量、商载(旅客+货物)和燃油三部分组成。一旦飞机设计方案确定,飞机的使用空机重量、重心、惯量及空机质量分布都是确定的,而当飞机燃油箱布置及耗油顺序确定后,燃油量与其重心、惯量以及燃油分布之间的对应关系也就逐一确定了。因此,影响全机重心、惯量的最活跃因素就是商载。不同的商载重量或商载分布会产生不同的全机重心或全机惯量,从而影响机体载荷大小^[2]。由于商载的不确定性,因而在实际计算中必须选择足够多的商载配置以保证不会遗漏载荷严重情况^[3]。

飞机实际运营中,有多种商载分布及装载方案,对于载荷设计人员来说,计算量十分庞大。在

收稿日期:2015-09-23; 修回日期:2015-11-06

通信作者:金秀芬,jinxiufen@comac.cc

20 世纪 80 年代,麦道公司在其型号研制中即为载荷分析开发了一套商载分布的计算软件,使得载荷分析工作更为标准化和自动化。波音公司基于其丰富的飞机设计经验,确定了 26 种民机载荷计算的重量和装载方案,从而大大简化了载荷分析工作^[4]。而国内正在开展此项研究工作,目前还未有成熟的可供载荷分析使用的商载分析计算软件。

如何从中挑选出载荷严重情况,从而使得更多的精力放在严重情况的分析上,是值得载荷设计人员去研究的课题。

为了解决这一问题,本文以波音公司推荐的民机载荷计算的重量和装载方案为基础,挑选其中部分商载配置对机身载荷进行计算分析,通过对比找出其变化规律,从而为今后有针对性的开展机身载荷计算工作提供借鉴和指导。

1 分析方法

本文以刚性机体为例,进行机身载荷分析。刚性机体机身载荷计算时,将飞机视为刚性机体,起落架载荷作为作用于飞机上的外载荷,根据达朗贝尔原理,将整个飞机看作是静态平衡的,依据飞机空机质量、商载、燃油的质量与分布,求出全机总重、总重心及重心处的三个平动过载和绕三个轴的转动角加速度,由此计算出各质量点的惯性载荷。

将飞机简化成十字梁结构,前机身作为支持在机翼前梁处的悬臂梁,后机身作为支持在机翼后梁处的悬臂梁。前机身从机头开始,后机身从机尾开始,将机身上的所有载荷分别从前向后、从后向前积分,叠加后得到前机身和后机身各站位的弯、剪、扭载荷^[5]。

2 载荷情况的选取

民机载荷设计情况较多,其中着陆载荷一直是机身结构的严重设计情况。在民航领域,所谓飞机的“黑色 10 分钟”,即大多数的空难发生在飞机起飞阶段的 3 分钟和着陆阶段的 7 分钟。1996~2005 年,我国民航共发生 1 147 起飞行事故征候,其中运输飞行事故征候 1 040 起,发生在着陆 165 起^[6]。

按照中国民用航空规章 CCAR-25 部,着陆载荷分析时至少需考虑起旋和回弹载荷。起旋载荷情况通常是后机身垂直剪力和垂直弯矩的严重情

况,回弹载荷则是前机身垂直剪力和垂直弯矩的严重情况^[7]。下文以某型民机两点水平着陆为例,在假定起落架载荷不变的条件下,分析上述两种典型情况时不同商载配置时机身载荷的变化情况。采用的起落架载荷如表 1 所示。

表 1 起落架着陆载荷
Table 1 Landing gear landing loads

着陆载荷	参数值	
	垂直载荷/kN	航向载荷/kN
最大起旋载荷	369	288
最大回弹载荷	436	-132

注:航向载荷向后为正,向前为负。

3 商载配置的确定

从理论上讲,对应各种飞机设计重量下的商载分布及其装载方案有无穷多种。为了从繁多的计算状态和可变的商载配置中选择尽可能少又能满足适航载荷分析需要的商载分布,引出了所谓典型商载配置问题。即对于任一型号飞机,在其特定的边界约束条件下(例如给定的飞机重量和纵向重心限制包线、给定的商载包线),将无穷多种商载分布及装载方案的问题转换成有限个典型商载分布,并相应给出各种飞机设计重量下用于载荷分析的装载方案^[8]。

在波音公司建议的 26 种方案下,本文选取其中的 10 种方案进行对比分析,如表 2 所示。这 10 种商载配置,涵盖不同的商载总重、重心位置和俯仰惯量,可以用于商载配置对机身载荷的规律性研究和分析。

表 2 商载配置情况
Table 2 Different payload distribution

序号	工况	商载配置定义	商载	燃油
1	2S	最大商载,前重心	最大商载	对应燃油
2	2R	最大商载,后重心	最大商载	对应燃油
3	2W	最大商载,最大俯仰惯量	最大商载	对应燃油
4	2V	最大商载,最小俯仰惯量	最大商载	对应燃油
5	2Q	最大燃油,前重心	对应商载	最大燃油
6	2P	最大燃油,后重心	对应商载	最大燃油
7	2U	最大燃油,最大俯仰惯量	对应商载	最大燃油
8	2T	最大燃油,最小俯仰惯量	对应商载	最大燃油
9	2H	中间商载,前重心	中间商载	对应燃油
10	2G	中间商载,后重心	中间商载	对应燃油

4 机身载荷对比分析

按照本文选取的分析方法,计算 10 种情况下重心处的过载和角加速度,10 种情况下的起落架载荷不变,因此平动过载均相同。角加速度则由于飞机重心位置、俯仰惯量不同而有所变化,如表 3

所示。

将所有载荷对前、后机身分别进行载荷积分,前机身根部站位到机翼前梁站位处共 37 个站位,后机身根部站位到机翼后梁处共 42 个站位。计算上述 10 种商载配置情况下的机身垂直剪力和垂直弯矩。

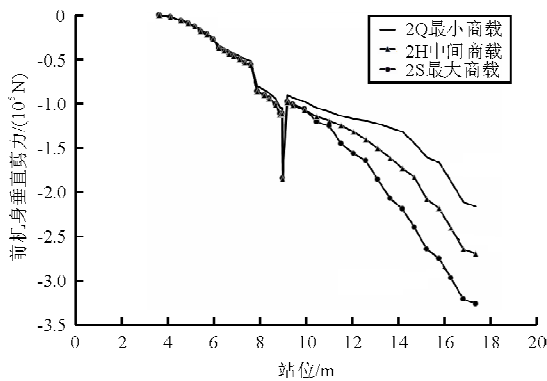
表 3 重心处角加速度

Table 2 Angular acceleration at center of gravity

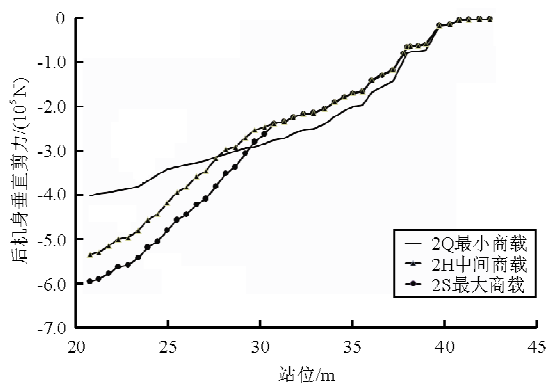
序号	情况	俯仰角加速度/(rad · s ⁻²)									
		2S	2R	2W	2V	2Q	2P	2U	2T	2H	2G
1	起旋	0.81	0.66	0.67	0.81	1.05	0.78	0.88	1.04	0.87	0.71
2	回弹	0.09	-0.07	0.00	0.09	0.22	0.01	0.13	0.18	0.07	-0.07

(1) 针对相同重心、不同商载重量,对比机身载荷,挑选出会产生较为严重机身载荷的商载分布。

分析 2S、2Q、2H 这三种商载重量情况,结果如图 1~图 2 所示。

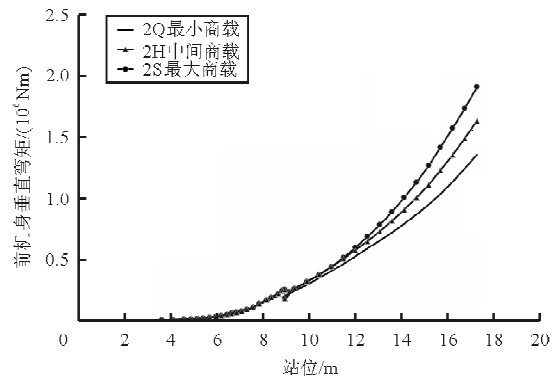


(a) 回弹载荷

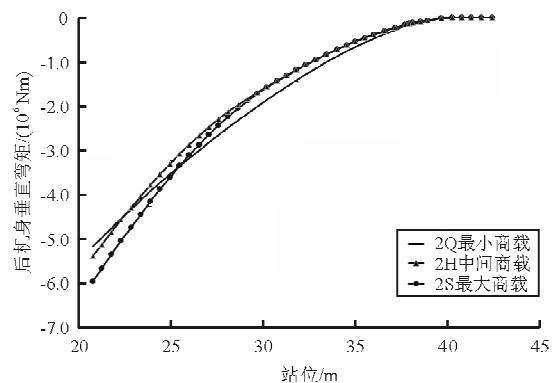


(b) 起旋载荷

图 1 不同商载重量下机身剪力对比
Fig. 1 Fuselage shear envelopes for different payload mass



(a) 回弹载荷



(b) 起旋载荷

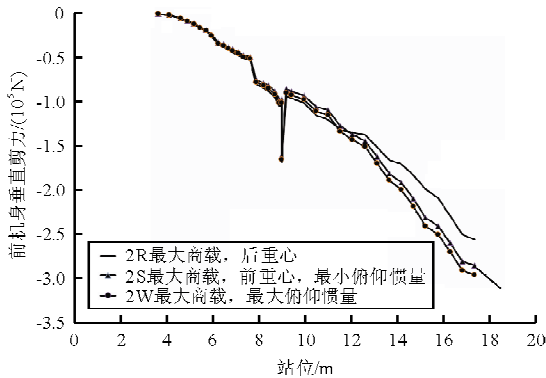
图 2 不同商载重量下机身垂直弯矩对比
Fig. 2 Fuselage vertical bending moment envelopes for different payload mass

从图 1 可以看出:随着商载重量的增加,前后机身根部垂直剪力也逐渐增加,在最大商载情况下,机身垂直剪力明显最为严重。图 2 中机身垂直弯矩也呈现相同的规律。

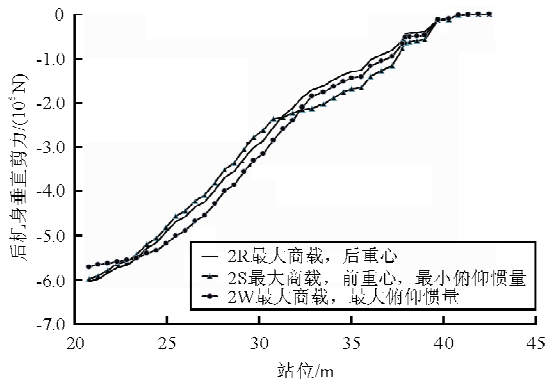
从理论上讲,机身垂直剪力主要由起落架载荷和惯性载荷组成,而惯性载荷由两部分组成,一部分是由平动过载引起的惯性载荷,另一部分是由转动角加速度引起的增量惯性载荷。商载主要是指货载和客载,分布在机身上。在起落架载荷相同的情况下,商载的重量大小对机身载荷的影响较大。虽然最大商载情况的俯仰角加速度与最大燃油相比略小,但是由于商载总量为最大值,其数值大于最大燃油情况下的商载,导致惯性载荷总量较大。与中间商载相比,在角加速度相当的情况下,商载总量大产生了更大的剪力。

(2) 针对挑选出的商载重量,在不同的重量分布下,进行机身载荷的对比研究。

机身上商载布置越多,机身垂直剪力越大,因此选取最大商载情况进行不同分布对机身载荷的对比。对最大商载前重心、后重心、最大俯仰惯量、最小俯仰惯量分布情况进行分析,结果如图3~图4所示。

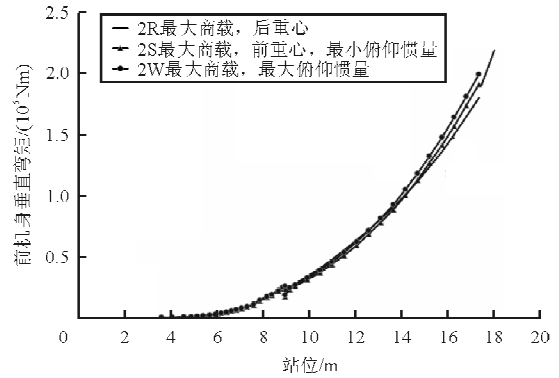


(a) 回弹载荷

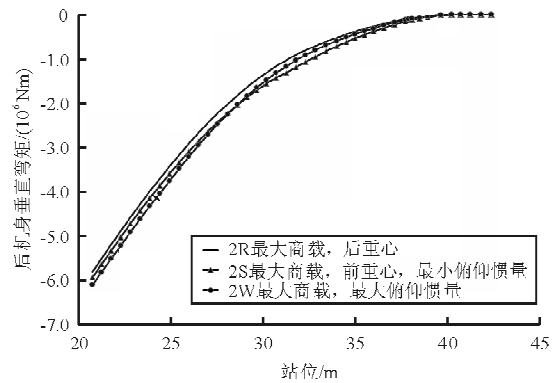


(b) 起旋载荷

图3 不同商载分布下机身垂直剪力对比
Fig. 3 Fuselage shear envelopes for different payload distribution



(a) 回弹载荷



(b) 起旋载荷

图4 不同商载分布下机身垂直弯矩对比
Fig. 4 Fuselage vertical bending moment envelopes for different payload distribution

从图3~图4可以看出:三种情况下的垂直剪力和垂直弯矩量级都较为接近,但在前、后机身根部,最大俯仰惯量下的垂直弯矩相对更为严重。

机身垂直弯矩主要与机身垂直剪力及其力臂有关。为了获得飞机的最大俯仰惯量,必须通过将飞机的客载和货载向机身的两头分布来实现^[9]。同时,加上俯仰角加速度的作用,离飞机重心越远的站位,由俯仰角加速度引起的过载增量越大,由此加大了机身两头的垂直剪力,导致总剪力增加,力臂也相应增大,造成了最大俯仰惯量情况下机身垂直弯矩也更为严重。

综上所述,对于机身载荷而言,最大商载情况构成了其严重设计情况,各最大商载的不同分布情况下,机身垂直剪力和垂直弯矩量级相当,由于本文的研究是基于起落架载荷不变的前提下进行的,实际重心位置的不同会对起落架载荷也造成一定影响,从而相应地影响剪力和弯矩。为了保证载荷

分析的全面性,对于机身载荷分析而言,必须分析最大商载情况下的各种不同商载配置。

5 结束语

在不同商载配置下,商载重量的大小对机身载荷起了决定性作用,而在最大商载的不同重量分布下,机身垂直剪力和垂直弯矩量级相当。因此,机身载荷分析时,必须至少考虑最大商载前、后重心、不同俯仰惯量的布置情况。本研究将有助于载荷分析人员今后有针对性地开展机身载荷分析工作,从而提高工作效率。

参考文献

- [1] 中国民用航空局. CCAR-25-R4 中国民用航空规章: 第 25 部——运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
Civil Aviation Administration of China, CCAR-25-R4 China civil aviation regulations; Part 25 — Airworthiness standards; transport category airplanes[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2011. (in Chinese)
- [2] 解思适. 飞机设计手册: 第 9 册[M]. 北京: 航空工业出版社, 2011.
Xie Sishi. Aircraft design manual; Vol. 9[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2011. (in Chinese)
- [3] Lomax T L. Structural loads analysis for commercial transport-aircraft theory and practice[M]. USA: AIAA, 1996.
- [4] 丁亚修. 民机飞机载荷计算与软件研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2003.
Ding Yaxiu. Investigation of civil aircraft loads analysis and software[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2003. (in Chinese)
- [5] 王仲燕. 飞机设计载荷计算指南[M]. 北京: 航空航天工业部, 1990.
Wang Zhongyan. Aircraft design loads calculation guide [M]. Beijing: Ministry of Aerospace Industry, 1990. (in Chinese)
- [6] 霍志勤, 罗帆. 近十年中国民航事故及事故征候的统计分析[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(12): 65-70.
Huo Zhiqin, Luo Fan. Statistic analysis on accidents and incidents in the last decade in China civil aviation[J]. China Safety Science Journal, 2006, 16(12): 65-70. (in Chinese)
- [7] 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.
Zheng Zuodi. Transport aircraft airworthiness standard technology advisory manual[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1995. (in Chinese)
- [8] 李元镜. 民机载荷分析中商载分布和装载方案研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2005(3): 19-21.
Li Yuanjing. Payload distribution and arrangement research for civil aircraft loads analysis[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2005(3): 19-21. (in Chinese)
- [9] 胡东妮. 飞机重量平衡手册的编制探究[J]. 航空维修与工程, 2012(3): 89-92.
Hu Dongni. Research on preparation of aircraft weight and balance manual[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2012(3): 89-92. (in Chinese)

作者简介:

金秀芬(1979—),女,高级工程师。主要研究方向:地面载荷、起落架强度。

于秀伟(1983—),男,硕士,工程师。主要研究方向:地面载荷、起落架强度。

(编辑:赵毓梅)