

# 起落架轮轴偏角对轮毂结构强度影响分析

刘文斌\*

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

**摘要:** 在飞机结构设计图纸上各类零部件都以静态刚体的形式表达,起落架机轮轮轴通常设计成与地面水平的形式,在地面载荷计算与结构强度分析时也通常以图纸为准进行计算分析,但在真实的地面使用物理场景中机体结构和起落架都会在受载后产生变形,轮轴轴线将与地面产生一个偏角,或者由于制造偏差和装配偏差等原因也会产生偏角,这些因结构柔性或者制造偏差原因造成的偏角对轮轴结构强度分析过程中准确性的影响有多大,在飞机设计精确化发展趋势的今天有较大的意义。本文基于有限元方法研究了典型地面载荷工况下,通过分析相同载荷状态、不同偏角状态下,某型民用飞机主起落架轮轴轮毂结构强度的变化情况,判断计算分析中是否应考虑轮轴偏角,为后续民机相关的结构强度设计提供参考。

**关键词:** 起落架;有限元;机轮;轮毂;强度分析

中图分类号: V214.1+3

文献标识码: A

OSID:



## 0 引言

民用飞机起落架是起飞、着陆、滑跑和各种地面操作情况下,支持飞机机体、减缓着陆冲击和耗散能量的关键部件<sup>[1]</sup>,主要包含油气式缓冲器<sup>[2]</sup>、机轮刹车系统、扭力臂和撑杆等部件,其中机轮主要由轮胎、轮毂、轮轴和刹车片等零件组成<sup>[3]</sup>,其典型结构图如图 1 所示。

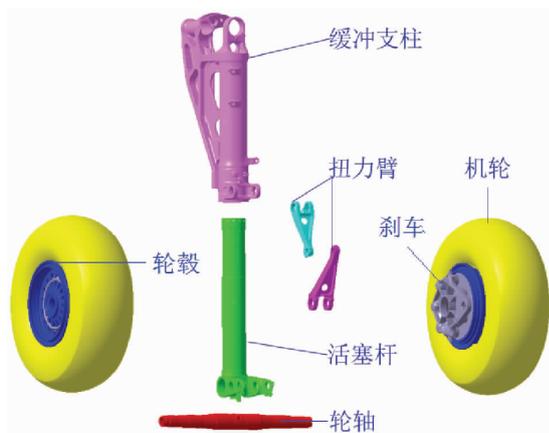


图 1 典型民机起落架结构示意图

起落架结构强度的设计过程,通常是先计算轮胎接地点地面载荷,再根据力的传递分布特性,计算各零部件的界面载荷,再对每个零件进行强度分析<sup>[4]</sup>,包括轮毂的强度分析。

在起落架地面操作载荷的计算中,国内民用飞机设计根据 CCAR-25 部地面载荷条款<sup>[5]</sup>的规定,国外也有相应的适航条款,假设飞机为刚体且不考虑起落架的航向、侧向刚度,即起落架轮轴依据三面图与地面处于水平状态,这与真实情况存在差异,起落架轮轴可能因为飞机变形或者制造偏差等原因与地面产生偏角<sup>[6]</sup>。

从轮毂的结构强度分析角度考虑,研究该偏角的影响具有一定的必要性,它不仅可以提高强度设计准确性,还能因此保证飞机运行安全、减小结构重量<sup>[7]</sup>、提高经济效益。

本文根据某型民用飞机主起落架的真实案例,研究了因为制造偏差和结构受载变形共同造成的微小偏角对轮毂结构静强度的影响,为后续工艺制造问题处置以及轮毂强度设计方法提升提供参考。

\* 通信作者。E-mail: liuwenbin@comac.cc

引用格式: 刘文斌. 起落架轮轴偏角对轮毂结构强度影响分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2020(3):24-28. LIU W B. Analysis of the influence of landing gear axle angle on hub structure strength[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2020(3):24-28(in Chinese).

## 1 某型飞机轮毂简介

某型飞机主起落架为双轮式起落架,机轮是一种A型机轮,主要由铝合金2014-T6铸造而成的内半轮毂和外半轮毂构成,其设计用于安装航空轮胎和刹车片。图2为一侧机轮的轮毂,包含根据相对活塞杆位置定义的内半机轮和外半机轮。内半机轮位于机轮靠近起落架活塞杆一侧,外半机轮位于机轮偏离起落架活塞杆一侧。机轮与轮轴轴套相互作用面之间使用两个轴承连接,内半机轮和外半机轮通过18个螺栓连接。



图2 轮毂结构示意图

轮毂的受力情况如图3所示,当飞机在地面上运行时,地面载荷通过轮胎作用到轮毂靠近地面的

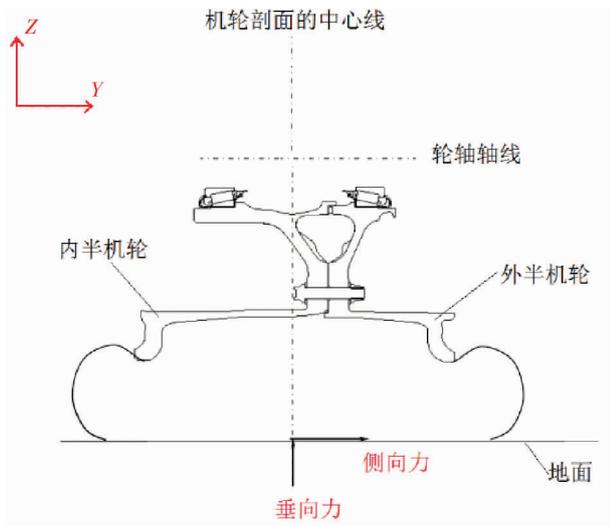


图3 机轮受力示意图

端面上。地面载荷主要为垂向力和侧向力,航向力使机轮做转动运动主要传递到刹车系统上。载荷作用点为机轮中心线与地面的交点,垂向力垂直地面向上,侧向力与地面平行指向外半机轮为正,航向力垂直纸面向外<sup>[8]</sup>,分别对应图中坐标系的X、Y和Z轴。

当轮轴存在偏角时,轮毂的受力形式基本不变,但垂向力和侧向力与轮轴的角度产生变化,力素的组合不同将导致结构强度的影响。某型飞机的轮轴偏角示意图如图4所示,该案例由于不同受力情况,偏角度数从0.3°到1.07°不等。

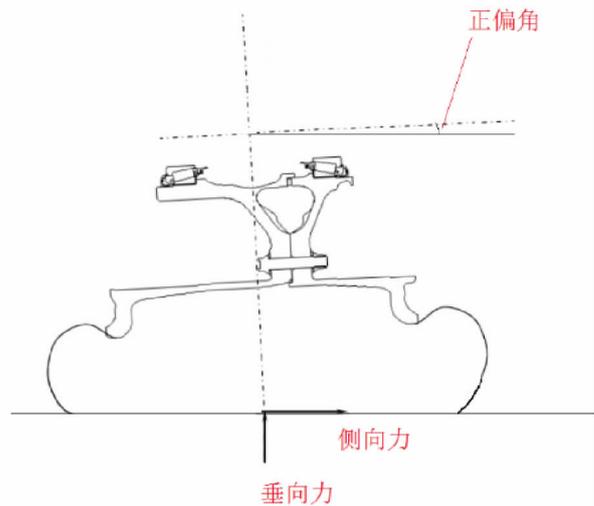


图4 偏斜机轮受力示意图

## 2 有限元建模

### 2.1 网格划分

本文使用 hypermesh 进行有限元前处理和网格划分,使用 ABAQUS 进行分析求解。模型包含内半机轮、外半机轮和在二分之一处截断轮轴三个零件,由420 633个二阶体单元构成,包含比例分别为98%和2%的六面体单元C3D8和五面体单元C3D6,以及连接模拟用的少数 coupling 单元和 tie 单元<sup>[9]</sup>。模型如图5和图6所示。

### 2.2 材料属性

轮毂材料为2014-T6牌号的铝合金,根据材料性能文件 MMPDS-04 的 AMS4133 规范,相关的力学性能为:拉伸极限应力448 MPa,拉伸屈服应力379 MPa,屈服压缩应力400 MPa,弹性模量74 GPa,泊松比0.33。

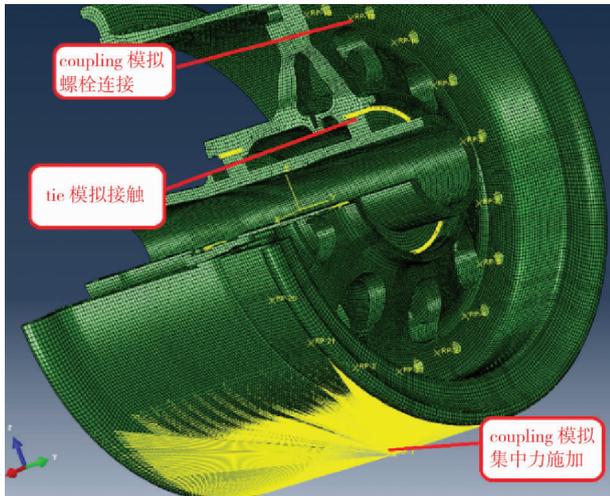


图 5 模型连接和加载示意图

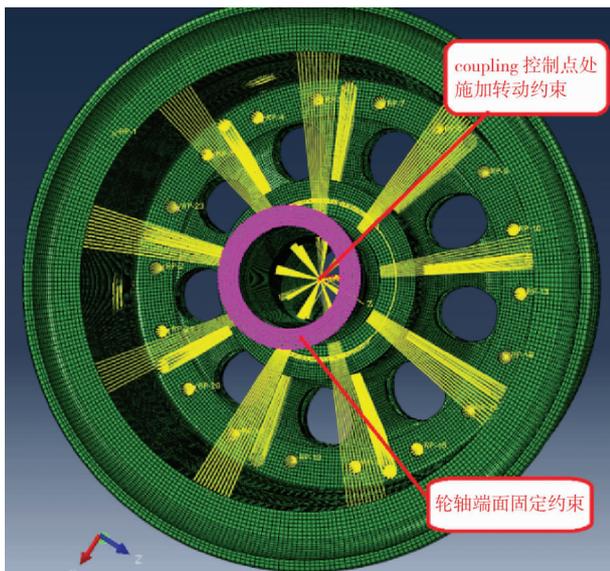


图 6 模型约束示意图

### 2.3 零件连接

为准确高效模拟零件间的相互连接,使用 coupling 单元模拟螺栓连接,使用 tie 单元模拟零件间的接触,如图 5 所示。因为轮毂强度危险区域通常为减重孔边,离螺栓存在一定距离,因此螺栓连接的简化,影响较小。

### 2.4 约束和载荷

如图 5 和图 6 所示,在轮轴端面施加固定约束模表示零件界面,在内半轮毂使用 coupling 控制点约束转动模拟刹车传力效果,使用 coupling 模拟地面载荷集中力施加。

### 2.5 计算工况

计算工况选取了典型严重工况 14 个,偏角和地

面载荷均不同,如表 1 所示。标准载荷均为乘以 1.5 安全系数的极限载荷<sup>[10]</sup>。

表 1 计算工况表

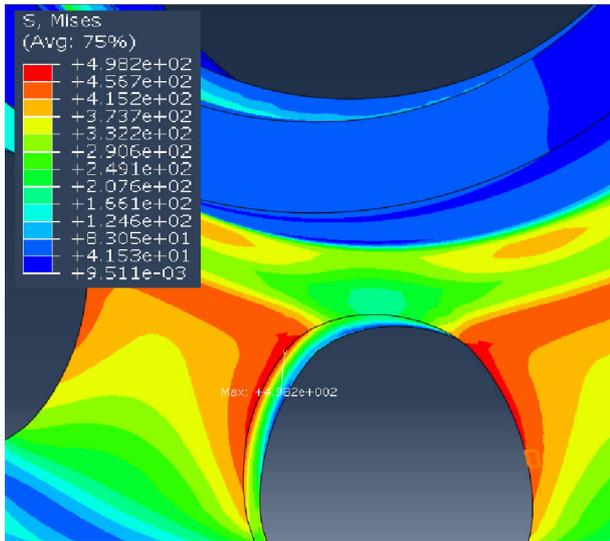
工况	偏角/°	侧向力/N	垂直力/N
1	0.299 3	0	171 926
2	0.735 9	0	390 004
3	0.248 2	-114 082	142 602
4	0.413 7	855 61	237 670
5	0.248 2	855 61	142 602
6	0.636 3	36 351	363 507
7	0.557 3	62 671	313 352
8	0.536 1	-153 965	307 930
9	0.645 6	-114 082	142 602
10	0.711 8	85 561	237 670
11	0.546 3	85 561	142 602
12	0.772 3	62 671	313 352
13	1.187 8	-113 694	454 778
14	1.072 4	-153 965	307 930

## 3 结果对比

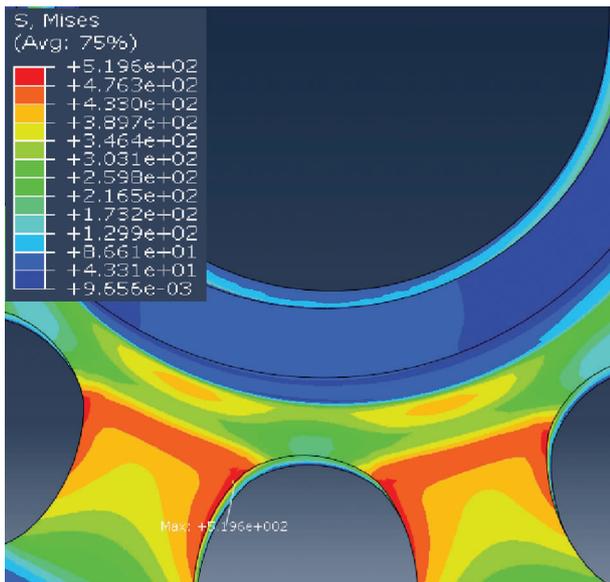
根据上述模型和工况,计算出轮轴偏角对强度的影响情况如表 2 所示,包含最大 VonMises 应力和应力变化的绝对值、相对值。最大变化情况为第 13 工况,应力云图对比如图 7 所示。

表 2 计算结果对比表

工况	最大应力/MPa		应力变化	
	无偏角	有偏角	绝对值/MPa	相对值/%
1	97	95	-2	-2.06
2	237	227	-10	-4.22
3	345	346	1	0.29
4	146	148	2	1.37
5	135	137	2	1.48
6	173	172	-1	-0.58
7	148	151	3	2.03
8	523	529	6	1.15
9	345	348	3	0.87
10	146	149	3	2.05
11	135	138	3	2.22
12	148	152	4	2.70
13	498	520	22	4.42
14	522	535	13	2.49



(a) 无偏角情况应力图



(b) 有偏角情况应力图

图7 第13工况应力云图对比

通过该案例的分析可以看出,主起落架机轮在有轮轴偏角的情况下,机轮影响区域的应力值最大增幅为4.42%,此影响不能忽略不计,需要供应商在下一轮分析中考虑轮轴偏角的影响。通过检查轮毂强度分析报告得知,地面载荷工况下的最小安全裕度为0.05,可以认为此裕度能够覆盖轮轴偏角带来的影响。

## 4 结论

本文研究了某型民机主起落架轮毂在不同工况

下存在不同偏角时结构静强度的变化情况。如表1和2所示,当偏角在 $0.25^{\circ}$ ~ $1.19^{\circ}$ 之间,变化不大的范围内,最大的应力变化情况有增有减,范围在 $-4.22\%$ ~ $4.42\%$ 内,影响无法忽略。基于本案例轮毂静强度裕度为0.05的情况下,勉强可以认定满足强度要求。但后续必须进一步考虑轮轴偏角的影响,进行精细化高精度的评估,特别是优化螺栓连接模拟方式以及轮胎载荷集中力的分载施加,重新计算安全裕度,确保飞机安全。本文研究成果也表明了民用飞机起落架强度设计过程中,轮轴偏角对轮毂强度的影响不可忽略,其它起落架零部件也有必要开展类似的影响研究。

## 参考文献:

- [1] 聂宏,魏小辉. 大型民用飞机起落架关键技术[J]. 南京航空航天大学学报, 2008(4):427-432.
- [2] 陈玉红,郑华,何泳,等. 含气穴效应的起落架落震动力学研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2015, 47(4): 602-606.
- [3] 周恩智. 飞机防滑刹车仿真技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2008.
- [4] 刘冰. 海鸥300飞机起落架强度分析与试验[D]. 南京:南京航空航天大学,2010.
- [5] 中国民用航空规章编委会. 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, 2009:45.
- [6] 邵永起. 起落架弹性变形对结构强度的影响[J]. 飞机设计, 2001(2):38-43.
- [7] 罗继业,金英. 民机制造环节的重量控制和减重措施研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2016(4):24-28 + 60.
- [8] 飞机设计手册总编委会. 飞机设计手册第9册:载荷、强度和刚度[M]. 北京:航空工业出版社, 2002: 130-135.
- [9] 何永乐,毕燕洪,张艺. 利用ABAQUS软件进行航空机轮刹车热分析[J]. 飞机设计, 2008,28(3):62-65.
- [10] 王月. 飞机吊挂静力试验界面载荷传感器研制与应用[D]. 南京:南京航空航天大学,2013.

## 作者简介

刘文斌 男,硕士,工程师。主要研究方向:起落架设计与分析。E-mail: liuwenbin@comac.cc

## Analysis of the influence of landing gear axle angle on hub structure strength

LIU Wenbin \*

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210 China)

**Abstract:** All kinds of components are expressed in the form of static rigid body on the airplane design drawings. The wheel axle of landing gear is usually designed to be level with the ground. The drawings are also the bases of the ground loads calculation and structure strength analysis. However, in real ground handling physical scene, the body structure and landing gear will be deformed after being loaded, and the axle axis will have a deflection angle with the ground, or it will also have a deflection angle due to manufacturing deviation and assembly deviation. The influence of these deflection angles caused by structural flexibility or manufacturing deviation on the accuracy of wheel axle structure strength analysis process is of great significance in the development trend of aircraft design accuracy today. Based on finite element method, this paper analyzes the influence of main landing gear axle angle on hub structure strength by a civil aircraft under the typical ground load cases, researches the change of hub structure with different angel but in same loads case, and judges whether the axle deflection angle should be considered in the calculation and analysis, so as to provide a reference for the subsequent structural strength design of civil aircraft.

**Keywords:** landing gear; finite element; wheel; hub; strength analysis

---

\* Corresponding author. E-mail: liuwenbin@comac.cc