



中华人民共和国国家标准

GB/T 38918—2020

民用飞机起落架结构与仿真

Civil airplane landing gear structure design and simulation

2020-06-02 发布

2020-12-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本要求 2

 4.1 概述 2

 4.2 总体布局 2

 4.3 结构形式 2

 4.4 结构承载 2

 4.5 材料选择 3

 4.6 维护性 3

5 详细要求 3

 5.1 缓冲器设计 3

 5.2 收放机构 6

6 仿真 7

 6.1 一般要求 7

 6.2 仿真内容 8

 6.3 仿真结果评估 12

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国航空器标准化技术委员会(SAC/TC 435)提出并归口。

本标准起草单位:中国商飞上海飞机设计研究院、中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所、中航通飞研究院有限公司、中国航空综合技术研究所、航空工业金城南京机电液压工程研究中心。

本标准主要起草人:张璞、王哲、李学常、王咏梅、郭仕贤、夏晓理、周小平、王宁、吴灿辉、章建华、汪森。



民用飞机起落架结构与仿真

1 范围

本标准规定了民用飞机起落架结构设计的基本要求、详细要求和仿真要求。

本标准适用于民用飞机起落架(以下简称起落架)结构设计及仿真,其他飞机可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

中国民用航空规章第 25 部(运输类飞机适航标准)(CCAR 25)中华人民共和国交通运输部令 2016 年第 19 号

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

起落架 landing gear

用于飞机起飞、着陆、地面滑行和停放的装置,一般由支撑结构、缓冲器、收放机构、转弯机构、机轮刹车装置等组成。

3.2

起落架结构 landing gear structure

用于承担并传递飞机地面载荷的起落架部件,一般由起落架支柱、缓冲器、车架、轮轴、撑杆、以及收放机构、转弯机构、锁机构、液压作动筒等部件组成。

3.3

缓冲器 shock absorber

用于起落架在飞机起降、滑行过程中吸收飞机下沉冲击能量的装置。

3.4

行程 stroke

缓冲器的压缩量。

3.5

反弹阻尼器 recoil snubber

安装在缓冲器内用于控制起落架伸长速度的阻尼器。

3.6

下位锁 down lock

在起落架处于放下位置时,用于锁住起落架的机构或装置。

3.7

上位锁 up lock

在起落架处于收上位置时,用于锁住起落架的机构或装置。

3.8

缓冲支柱 shock strut

起落架结构上主承载支柱和缓冲器合二为一的元件。

4 基本要求

4.1 概述

起落架结构主要功能是在飞机着陆时吸收着陆能量,在飞机进行地面机动时支撑飞机。为了减低飞机气动阻力与噪声,降低油耗,提升经济性,起落架一般设计为可收放式起落架。起落架结构约占飞机最大起飞重量的3%~6%,它是飞机结构的一部分。起落架结构一般按照安全寿命设计,与机体同寿命,同时应综合考虑起落架的机构可靠性、耐久性、维修性、安全性和经济性等方面的要求。

4.2 总体布局

起落架的布局形式分为前三点、后三点等形式,目前常选用前三点式,并可根据飞机的重量、轮胎承载、漂浮性等要求,考虑采用多支柱式。

起落架轮胎的布置应满足飞机跑道漂浮性的要求,以及轮胎、机轮刹车组件易更换的要求。按每一起落架上的轮胎数量及其布置情况,常见的起落架有单轮式、并列双轮式、双串列四轮小车式、双三串六轮式等,如图1所示。

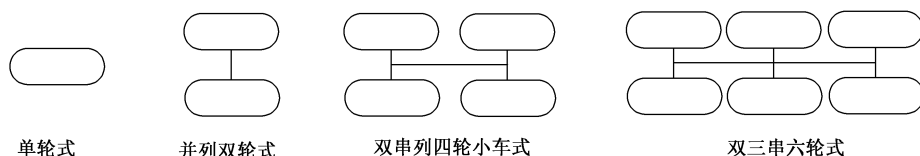


图1 常见起落架轮胎布置

起落架总体布局设计是一个反复迭代的过程,其基本要求如下:

- 根据飞机重心位置,初步确定主起落架位置,一般主起承载比例应不小于90%;
- 主起落架接地点位置应考虑擦地角、防倒立角,以及前起落架折断时,发动机短舱是否允许触地的要求,同时考虑短舱离地要求确定;
- 起落架的展向位置应根据机翼位置、起落架长度和收放要求确定,并考虑侧翻角的影响;
- 前起落架接地点位置应考虑前起承载(一般不小于4%)和转弯半径要求确定;
- 起落架布局还应考虑飞机轮舱开口位置,构件布置,起落架接头和交点位置,起落架高度引起的载荷和重量变化等因素。

4.3 结构形式

起落架通常为梁式起落架,根据支柱梁的支撑形式不同,可分为支柱式、摇臂式。采用何种形式主要由飞机重量、起降场地的强度、轮胎大小和收藏空间等条件决定。

4.4 结构承载

起落架应具有足够的结构承载能力,以满足飞机在起飞、着陆、以及地面操作情况下可能遇到的所有载荷工况的组合,包括单个轮胎漏气或者缓冲支柱失效的情况;应能够承受所有地面操作环境,包括飞机运营所允许的极端环境温度和跑道条件。

4.5 材料选择

起落架材料选择要求如下：

- a) 应按经适航认可的专业标准或经飞机主制造商批准的材料选用目录进行选择；
- b) 应满足起落架使用功能、使用条件和使用部位的要求；
- c) 应根据承载和使用环境选择合理的热处理和表面处理方法；
- d) 应综合考虑材料的强度、重量、设计空间和经济性等要求；
- e) 应考虑可制造性，并与其他结构材料选择相匹配。

4.6 维护性

起落架结构维护性要求如下：

- a) 应在合适的位置上设计顶起点，以便在不顶起飞机情况下拆装机轮；
- b) 宜在缓冲支柱上设置备用密封装置，以便在主密封失效时启用备用密封；
- c) 起落架的运动接头和重要承载接头应设置有润滑通道；
- d) 起落架上的充气嘴、充油嘴、润滑嘴应布置在易于接近的位置，并留有足够的空间；
- e) 起落架的充气嘴、充油嘴、润滑嘴应选用标准件；
- f) 在铰接处和磨损表面应留有修理余量；
- g) 应考虑起落架装配、机上安装和维护的通道；
- h) 对于单个重量超过 25 kg 的构件，应设计起吊点；
- i) 应按照飞机需求设计牵引和系留接口；
- j) 易损件应考虑检修周期的要求。

5 详细要求

5.1 缓冲器设计

5.1.1 缓冲器设计一般原则

缓冲器设计要求如下：

- a) 应充分吸收飞机着陆时的能量，以便在飞机以设计规定的重量和下沉速度着陆情况时，不超过设计的过载值（包括使用过载和储备功过载），并且结构不会失效。
- b) 应在所有工作载荷和温度范围内不会发生触底。
- c) 应有一定的安全余度，在使用过程中缓冲器压缩行程不能超过设计规定值。
- d) 详细设计应考虑如下因素：
 - 1) 当量质量和下沉速度；
 - 2) 起落架过载；
 - 3) 空气作用和排气面积的计算；
 - 4) 起落架的阻尼和反弹阻尼；
 - 5) 轮胎的工作特性和缓冲性能。
- e) 应规定使用的充填介质；充填介质应不引起腐蚀，也不助燃。
- f) 在起落架放下后，应在一定的时间范围内完成内腔之间的液体的流动，并达到所要求的功能。
- g) 应满足飞机各种设计状态下的着陆、连续多次起降飞行时吸收着陆撞击能量的要求。
- h) 摩擦特性不应引起缓冲支柱（器）内部有害的轴套摩擦力和密封圈摩擦力，不应出现卡滞现象。
- i) 应进行性能优化仿真，具体要求见 6.2.1。

j) 应根据 CCAR 25.723 进行落震试验。

5.1.2 尺寸确定

飞机起落架缓冲器活塞的尺寸应由单个起落架上的地面作用力和停机情况下缓冲支柱的内压力确定。对于支柱式起落架,最大停机载荷下的初始静压力宜为 10.34 MPa~17.24 MPa(1 500 psi~2 500 psi)。

对于摇臂式起落架,由于在同样的地面载荷下,缓冲器上的载荷由于摇臂作用而被机械放大,因而这种起落架的缓冲器压力更高一些,这不仅是因为其载荷更大,而且可以减小缓冲器尺寸以便获得更佳的安装空间。缓冲器最大静压力宜不超过 17.24 MPa(2 500 psi),以使其与 20.68 MPa(3 000 psi)氮气充气瓶的压力相适应。

缓冲器的初始压力应能在起落架收起状态维持缓冲支柱处于全伸长状态,但缓冲器初始压力不宜过高,以避免较高的初始压缩载荷以满足乘坐舒适性要求以及触发接地信号要求。

5.1.3 行程

应根据缓冲器的缓冲能力确定起落架缓冲器的结构行程,根据能量守恒定律,考虑缓冲器和轮胎吸收飞机的动能和势能,简化的数学公式见式(1):

$$\frac{Gv^2}{2g} + (G - L)(S + S_t) = GNS_t n_t + GNS_n s_s \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $\frac{Gv^2}{2g}$ ——飞机着陆动能,单位为焦耳(J);
- $(G - L)(S + S_t)$ ——飞机位能,单位为焦耳(J);
- $GNS_n s_s$ ——缓冲支柱吸收的动能,单位为焦耳(J);
- $GNS_t n_t$ ——轮胎吸收的动能,单位为焦耳(J);
- S_t ——N 倍停机载荷下轮胎变形,单位为米(m);
- S ——机轮相对外筒的垂直行程,单位为米(m);
- n_t ——轮胎效率(一般假设为 0.47);
- n_s ——缓冲器效率;
- N ——过载系数;
- G ——飞机重力,单位为牛顿(N);
- g ——重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2);
- L ——升力,单位为牛顿(N);
- v ——下沉速度,单位为米每秒(m/s)。

根据 CCAR 25 的规定,升力等于重力,由式(1)可得:

$$S = \frac{1}{n_s N} \left(\frac{v^2}{2g} - NS_t n_t \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

起落架缓冲器的结构行程在式(2)的基础上,还应考虑以下因素:

- 起落架缓冲支柱的安装倾角和飞机擦尾角的影响;
- 考虑起落架低温触底情况,应预留适当的行程(宜为 25 mm);
- 缓冲器使用行程一般不超过结构行程的 90%。

5.1.4 效率

缓冲器的效率应满足以下要求:

- a) 当缓冲支柱实际行程超过 5.1.3 定义的行程时,缓冲器效率可达到最低值;
- b) 按下列公式用落震试验所得到的数据确定的效率,对于可变限油孔的缓冲器一般不小于 75%,对于定油孔的缓冲器可低至 60%。

缓冲器效率计算公式见式(3):

$$\eta = \frac{A}{L_{\max} \times S_{\max}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- η ——缓冲器效率;
- A ——缓冲器在其行程内所吸收的能量,单位为焦耳(J);
- L_{\max} ——试验中得到的最大载荷,单位为牛顿(N);
- S_{\max} ——试验中得到的最大行程,单位为米(m)。

5.1.5 反弹阻尼器

缓冲器应具有反弹阻尼器,通过反弹阻尼器限制缓冲装置的反弹速度,保证飞机在初次着地后,其反弹效应不会严重影响飞机的稳定性、操纵性和刹车性能。反弹阻尼器设计要求如下:

- a) 起落架伸长时的冲击载荷应符合设计要求(宜为 20 g 限制载荷);
- b) 反弹腔峰值压力应符合结构和密封要求;
- c) 作用在支柱内筒上的压差应满足结构稳定性和强度要求。

5.1.6 内腔设计

缓冲器内腔的设计要求如下:

- a) 应详细考虑内腔之间的油液流动;油气式缓冲器的内部结构应保证在起落架收起时的腔内流体能够在起落架放下至起落架接地之间的最短时间内通过任意路径流回其功能腔内,并与飞机的操作要求一致;
- b) 应保证缓冲器在发生收起角度过大或倒置情况恢复后,缓冲器的性能不受影响;
- c) 应保证在所有操纵和维修情况下,缓冲器内不会截留空气或油液错位,保证缓冲器的所有功能。

5.1.7 动静密封设计

缓冲器应设计密封装置,防止油液泄漏和保持起落架内正常气压,密封结构的设计要求如下:

- a) 应配置防止油液泄漏和保持起落架内正常气体压力的密封圈;
- b) 密封圈的安装应避免承受结构载荷带来的损坏;
- c) 应能在不便维修的情况下使用备用密封圈;
- d) 滑动密封圈的选择和安装应能防止其自身相对密封槽转动或滚动,不应直接使用 O 型密封作为滑动密封;
- e) 密封装置设计和计算应采用经过充分验证的密封结构;
- f) 密封材料应与指定油液的特性相容;
- g) 应在不分解起落架的情况下,给所有滑动密封提供充分的润滑;
- h) 滑动密封和静密封的数量应尽量少,且易更换。

5.1.8 滑动支撑

所有起落架缓冲器滑动支撑的位置、尺寸、材料、配合间隙以及所用润滑油的选择应考虑下列因素:

- a) 活塞杆处于不同行程时的支柱挠度和支柱所承受的载荷;

- b) 在 a) 下产生的变形；
- c) 不同的内压力产生的零件的径向应变；
- d) 油液暴晒或温度变化下支承材料的尺寸稳定性；
- e) 支承摩擦及其变化对缓冲器性能包括缓冲器伸展性能的敏感性；
- f) 摩擦热和相关暴露零件的机械性能对缓冲器稳定性的影响。

5.1.9 止动块设置

在缓冲器全伸长时,应有行程止动块。止动块的设计要求如下:

- a) 在缓冲器正常操纵情况下,在缓冲支柱全伸长时缓冲器的载荷不应使起落架损伤,止动块也不应发生失稳、裂纹等失效情况；
- b) 在预加压力不足、气体过充或压力不足、油液缺乏等情况下,止动块可能的损伤不应导致起落架收放功能丧失；
- c) 缓冲支柱全伸长时止动力应不小于非弹簧重量的 20 倍(限制载荷)。

5.1.10 气体充填

起落架缓冲器使用的充填气体的要求如下:

- a) 在着陆时,要求缓冲器在任何压缩比条件下均应没有压缩起爆的危险；
- b) 当缓冲器与飞机起落架其他部分共同工作时,缓冲器无论在着陆滑行或地面操纵时,缓冲器所受载荷均不应损害缓冲器行程止动装置；
- c) 压力应保证在起飞后缓冲器能够处于全伸长状态,并在所有可能的飞行条件下,起落架在收上位置时,保证缓冲器能保持其所设计的结构行程；
- d) 保证起落架在收上位置时,缓冲器的行程不应引起飞机的损坏或起落架的失灵。

5.2 收放机构

5.2.1 结构设计一般原则

起落架收放机构设计要求如下:

- a) 应满足运动学机构布置原则、刚度要求和 CCAR25.729 要求；
- b) 应满足起落架或舱门在收上、放下、和收放过程中的间隙要求；
- c) 应考虑结构和功能性变形对锁机构的影响,如果锁环位于缓冲支柱活塞杆的端部,则应考虑伸长量的变化,以及起落架支柱端部下垂的影响；
- d) 起落架舱门机构一般应设置独立的地面打/关舱门的装置；
- e) 起落架舱门机构一般应设计预紧载荷；
- f) 舱门地面打开时,应提供地面安全装置,以防止舱门意外运动；
- g) 所有部件不宜使用扭力簧、滑槽、套管等装置；
- h) 应进行机构运动(运动协调)和动力学仿真,具体要求见 6.2.2；
- i) 所有的可收放起落架在收上或放下位置时,均应有可靠的锁机构/装置使起落架保持在收上或者放下的位置；
- j) 锁机构设计时,应考虑在其失效时,破损的弹簧或小零件碎片不会影响锁机构或起落架结构和设备的功能；
- k) 应考虑高温、低温、以及结冰环境对开锁和上锁的影响。

5.2.2 下位锁

所有的可收放式起落架均应有使起落架保持在放下状态的下位锁。下位锁的设计要求如下:

- a) 应能使起落架支柱在所有的载荷工况(空中、地面、惯性等)和结构偏差下保持在放下位置;
- b) 无论起落架是正常或应急放下,下位锁均应能在起落架放下后锁定;
- c) 应避免由于腐蚀、结冰、灰尘累积和缺乏润滑等引起的故障;
- d) 下位锁一般不应承受较大的地面载荷,建议采用过中心设计的连杆锁机构;在不可避免的情况下,下位锁应有足够的强度和刚度;
- e) 当下位锁锁定后,应能在一般飞机操作中的地面振动、液压波动环境下保持不开锁;
- f) 停机时,下位锁应设置安全装置。

5.2.3 上位锁



所有的可收放式起落架均应有使起落架保持在收上位置的上位锁,上位锁设计要求如下:

- a) 应能将起落架固定在收上位置,承受飞机所有飞行工况下的起落架质量载荷;
- b) 锁钩转轴方向应与被锁定构件(起落架支柱或舱门)转轴方向平行,以便顺利上锁或开锁;
- c) 锁钩对锁环的约束方向应在锁环运动轨迹方向上,避免产生附加载荷使锁环脱出;
- d) 起落架收起后,上位锁应能自动锁定,在未收到“放下”指令前,上位锁应保持起落架在收上位置;
- e) 如果起落架收放机构和舱门连动,上位锁锁定后,舱门也应随之关闭,并且当过载使起落架舱门产生裂纹或损毁时,上位锁不应损坏;
- f) 当在驾驶舱操纵面板上选择了“起落架放下”按钮后,上位锁应从锁定状态打开;
- g) 上位锁应设有应急开锁装置,以保证正常开锁系统发生故障时仍能开锁;
- h) 上位锁应避免由于腐蚀、结冰、灰尘累积和缺乏润滑等引起的故障;
- i) 上位锁或锁销的安装位置应能适当调整,以作为设计、工艺和使用变形的补偿。

5.2.4 液压作动筒

起落架液压作动筒提供起落架和舱门收起放下必需的作用力,动作筒设计要求如下:

- a) 在起落架设计阶段应确定作动筒的尺寸(几何尺寸和有效压力面积);
- b) 应设置末端阻尼装置;
- c) 应设计足够的剩余行程,以保证使用中不会因结构和机构的变形及容差影响收放机构功能;
- d) 安装应便于维护和检查,宜将作动筒安装在受防护部位;
- e) 如果作动筒处于外露部位,则应对其加以保护,免受起飞和着陆时飞起砂石的破坏。

6 仿真

6.1 一般要求

6.1.1 仿真任务

在仿真工作启动后,应首先明确仿真任务的具体要求,包括:目的、具体内容和范围、仿真使用的软件 and 平台、仿真所需的参数和参数来源、数字样机的构型和版本、优化设计要求、进度要求、仿真结果预期和仿真报告的编制要求等方面。

6.1.2 仿真流程

起落架结构设计过程中的仿真工作流程一般为:

- a) 首先应根据仿真任务制定仿真方案,其内容应包含仿真任务的要求,另外还应根据仿真对象的特点明确:模型简化方式、约束施加方式、模型检查方法和标准等。例如:作动筒建模方法、周

围结构刚度模拟方法、是否需要施加气动载荷等。

- b) 仿真模型建模过程应落实仿真任务要求和仿真方案,其仿真流程包括:
- 1) 依据仿真任务和方案要求,在起落架数字样机和所需仿真参数的基础上,建立仿真模型;
 - 2) 仿真模型应正确模拟给定数字样机的物理特性和功能;
 - 3) 建立仿真模型的数学方法应准确可靠。
- c) 应明确起落架仿真的工况,包括:是否考虑气动载荷工况、是否考虑起落架运动过程中支撑结构的刚度与变形、起落架运动过程中飞机的过载等。应根据飞机使用的状态,确定仿真工况清单。在仿真分析完成后,应进行仿真过程与结果显示,并对仿真结果进行综合评估,必要时应进一步修正模型与参数,或者对数字样机模型进行设计优化。仿真工作流程如图 2 所示。

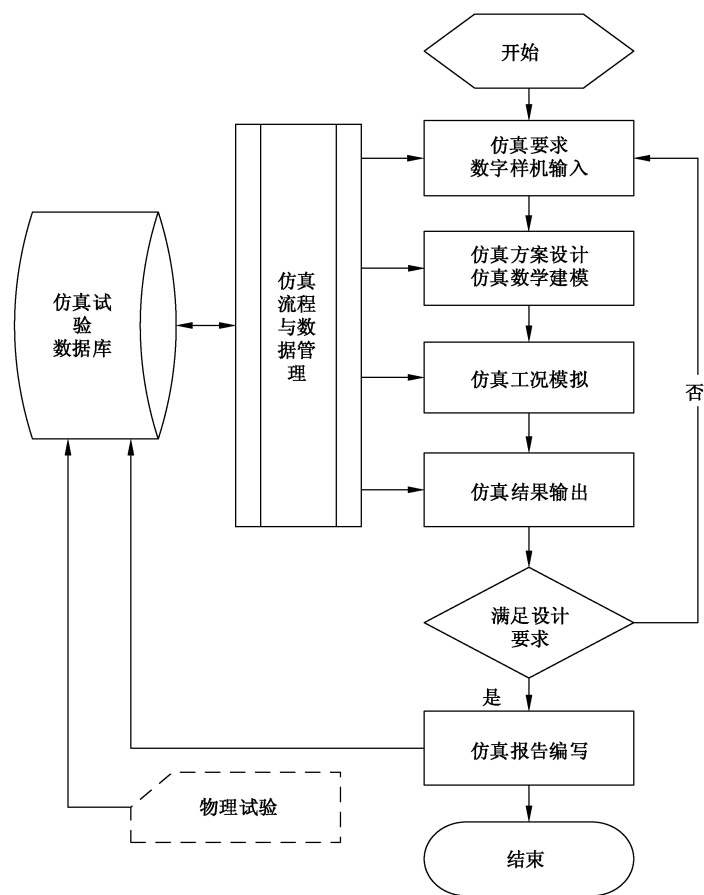


图 2 仿真工作流程

6.2 仿真内容

6.2.1 缓冲器性能仿真

6.2.1.1 仿真目的

起落架结构设计过程中应进行起落架缓冲器性能仿真,以确保起落架的缓冲性能满足设计要求。应采用经过验证的仿真方法进行仿真。起落架缓冲器性能仿真的主要目的为:

- a) 在初步设计过程中,检查缓冲器的工作原理,给出性能评估;
- b) 在详细设计过程中,通过缓冲器的具体尺寸设计调整填充参数和阻尼等;
- c) 在后续优化设计和验证过程中,根据物理试验结果修正仿真模型,验证缓冲器性能参数;建立

并完善模型参数数据库,为缓冲器优化提供支持。

6.2.1.2 仿真步骤

起落架缓冲器性能仿真主要包括设计着陆试验仿真、储备功试验仿真、充填参数容差试验仿真等内容。缓冲器性能仿真步骤如下:

- a) 首先明确缓冲器性能仿真的输入,至少应包括以下内容:
 - 1) 起落架数字样机;
 - 2) 起落架缓冲器仿真参数(包括起落架当量质量、飞机着陆姿态、下沉速度、功量、温度等);
 - 3) 缓冲器初始充填参数;
 - 4) 轮胎和跑道参数。
- b) 根据选定的起落架构型建立仿真模型,数字样机可进行合理简化,缓冲支柱刚度应准确模拟。
- c) 缓冲器充填参数、跑道参数(剖面、刚度)和轮胎参数赋值。
- d) 确定填充参数初始条件,进行仿真分析。
- e) 输出以下仿真结果:
 - 1) 起落架所承受的垂直、水平与侧向载荷的时间历程曲线;
 - 2) 重心位移、活塞杆行程、地面作用于轮胎上的垂直、水平以及侧向载荷的时间历程曲线;
 - 3) 起落架重心处过载,机轮轮轴处的三向加速度的时间历程曲线;
 - 4) 起落架支柱上关键部位的应力值;
 - 5) 可利用计算机系统进行三维全过程演示。
- f) 根据仿真结果对缓冲器参数的工作情况进行判断,优化缓冲器参数。
- g) 根据落震试验结果对仿真模型进行修正和完善。

缓冲器性能仿真流程如图 3 所示。

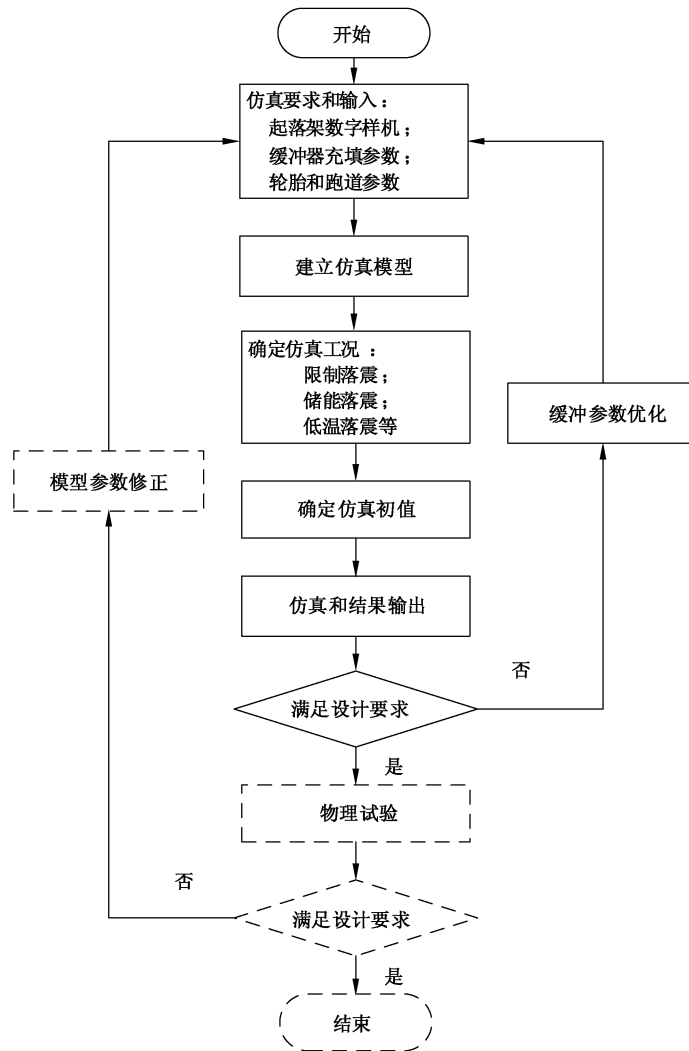


图3 起落架缓冲器性能仿真流程

6.2.2 收放机构仿真

6.2.2.1 仿真目的

起落架结构设计过程中应进行起落架收放机构仿真,以确定收放机构的运动学和动力学特性。应选用经过验证的仿真方法进行仿真。起落架收放机构仿真的主要目的为:

- 在初步设计过程中,检查起落架收放机构的工作原理,包括作动装置和锁机构的原理是否正确,各运动件之间、运动件与周围机体及其他系统之间是否干涉、间隙是否满足设计要求,给出机构运动轨迹和包络空间;
- 在详细设计过程中,检查收放机构是否具有足够的克服气动载荷、舱门预变形载荷、飞行过载、轮胎收上止转载荷等外部载荷收起和放下起落架的能力;
- 在后续优化设计和验证过程中,根据物理试验结果修正仿真模型,验证起落架性能参数;建立并完善模型参数数据库,为收放机构优化提供支持。

6.2.2.2 仿真步骤

收放机构仿真的主要步骤如下：

a) 首先应确定收放机构仿真的输入,对于刚体运动学仿真,至少应包括以下内容:

- 1) 起落架数字样机;
- 2) 起落架收放机构主要交点坐标、运动平面等;
- 3) 锁机构的设计与定位。

对于受载的机构动力学仿真,还应包括:

- 4) 起落架机构组件的重量重心、质量特性参数;
- 5) 作用于舱门上的气动载荷大小和方向;
- 6) 作用于起落架支柱上的气动载荷大小和方向;
- 7) 起落架过载的大小和方向;
- 8) 机构铰链摩擦系数;
- 9) 作动筒效率;
- 10) 可用液压压力等。

b) 根据选定的起落架机构构型来建立仿真模型,数字样机可进行合理简化,仿真任务中关注的细节区域及受影响区域的模型外形、刚度、约束条件等应完整、准确。

c) 确定初始条件,进行仿真分析。仿真结果输出应包括:

- 1) 起落架运动机构的运动轨迹和包络体;
- 2) 起落架运动机构的运动间隙;
- 3) 起落架机轮、轮胎、舱门和机体及其他系统之间的间隙;
- 4) 锁机构的间隙;
- 5) 作动筒压力-行程曲线;
- 6) 克服外载荷所需的作动筒力-行程/角度曲线;
- 7) 作动筒液压流量曲线;
- 8) 可利用计算机系统进行三维全过程演示。

d) 根据仿真结果对机构设计参数的工作情况进行判断,对机构进行设计优化。

起落架收放机构仿真(包括运动学和动力学仿真)流程如图4所示。

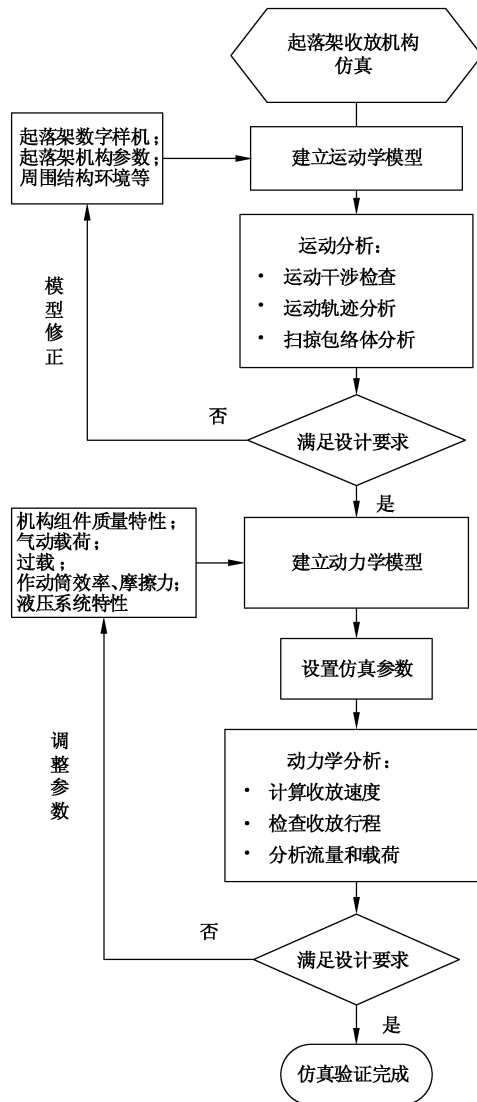


图 4 起落架收放机构运动仿真流程

6.3 仿真结果评估

应按照仿真任务要求,对仿真结果进行可视化显示,并根据第 4 章和第 5 章规定的结构设计要求,以及仿真任务书给定的评估指标和开发的评估模型对仿真结果数据进行评估分析。

仿真结果评估一般应遵循以下原则:

- 对仿真建模的各主要环节逐项进行评估,并在此基础上进行综合评估;
- 确认仿真工况的准确性和完整性;
- 利用理论知识和工程算法对仿真分析结果进行趋势性判读;
- 将仿真结果与物理试验数据库或者相应的物理试验结果进行比较,以验证模型的准确性;也可利用试验数据对仿真模型参数进行修正;
- 由专家对仿真结果进行评审。