

飞机起落架撑杆锁弹簧的分析与设计

袁理¹, 余晟², 钟声¹, 马颖¹, 宁晓东¹

(1. 中航飞机股份有限公司长沙起落架分公司, 长沙 410200;
2. 海军驻某部航空军代室, 株洲 412000)

[摘要] 飞机起落架撑杆锁弹簧是下位锁机构实现功能的关键部件,其设计过程需要考虑其与下位锁开锁作动筒的协调以及其对收放载荷和起落架自由放性能的影响。讨论了撑杆锁弹簧的设计流程以及弹簧设计过程中需要考虑的因素,介绍了一种区别于传统受力分析确定弹簧工作拉力的方法,并例举了一种支承式撑杆锁弹簧的设计与计算过程。

关键词: 起落架; 下位锁机构; 锁撑杆; 弹簧

Analysis and Design of Springs on Landing Gear Down-Lock Mechanism

YUAN Li¹, YU Sheng², ZHONG Sheng¹, MA Ying¹, NING Xiaodong¹

(1. AVIC Landing-Gear Advanced Manufacturing Corp., Changsha 410200, China;
2. PLA Navy's Aviation Military Representative Office, Zhuzhou 412000, China)

[ABSTRACT] Springs play a crucial role in airplane landing gear down-lock mechanisms. It is necessary to consider the coordination between springs in down-lock mechanism and unlock actuator, the springs behavior impact on gear during retraction and extension, and the free fall situation. The design process of springs on down-lock mechanisms is discussed, specifications of springs design are listed, a new method different from force analysis is provided, and an example of springs on down-lock mechanism design is given.

Keywords: Landing gear; Down-lock mechanism; Locking stay; Spring

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2017.03.078

飞机起落架下位锁的性能直接影响着飞行安全^[1],而弹簧往往是下位锁机构实现其功能的关键部件,下位锁机构中弹簧设计的重要性毋庸置疑。撑杆锁是起落架下位锁最常见的形式,而设定弹簧在撑杆机构中的边界条件令设计人员感到棘手,形成一套合理有效的撑杆弹簧设计和计算方法是亟待解决的问题。

1 撑杆锁弹簧设计思路

1.1 撑杆锁弹簧的布置形式

可折撑杆锁是位于起落架撑杆折叠处的连杆锁,其上锁后不能折叠,可承受拉压载荷^[2]。按锁杆机构布置形式,可折撑杆锁分为自折式和支承式,为保证起落架能自由放下并上锁^[3],自折式和支承式可折撑杆锁皆采用弹簧实现上锁目的,并利用开锁作动筒解锁。自折式撑杆锁的锁机构在撑杆上,结构刚度较弱,用于收藏空间狭窄的情况^[4]。常见的自折式撑杆锁弹簧的布置形

式如图 1 所示。

支承式撑杆锁的锁机构不在撑杆上,结构受力合理且刚度好^[5],应用广泛^[6],但对弹簧的要求较高。典型的支承式撑杆锁弹簧布置形式如图 2 所示。

1.2 设计思路与初始条件

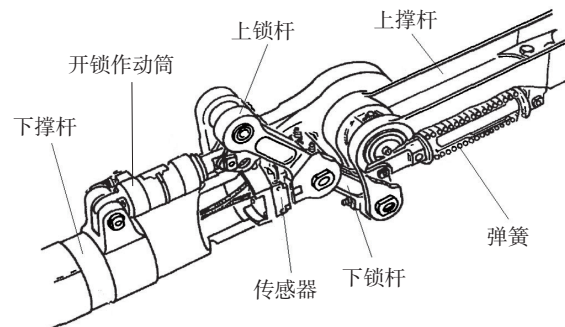


图1 自折式撑杆锁弹簧布置

Fig.1 Springs in down-lock of self-foldable side stays

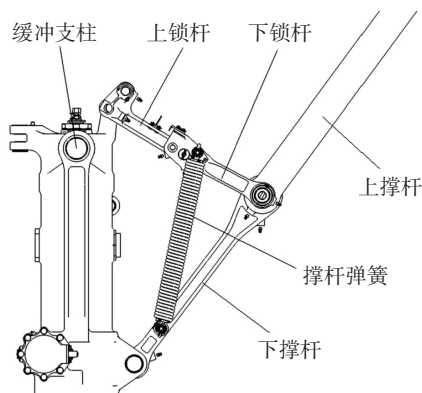


图2 支承式撑杆锁弹簧布置
Fig.2 Springs in down-lock of lock stays

撑杆锁弹簧的设计是下位锁撑杆组件乃至整个收放系统中至关重要的环节,其参数影响着收放系统中开锁作动筒和收放作动筒的设计以及整个收放系统的性能。起落架收放系统中撑杆锁弹簧和作动筒设计流程如图3所示,下位锁弹簧(撑杆弹簧)初步设计完成后开始下位锁开锁作动筒设计,然后利用所得参数设计起落架收放作动筒,最后根据所有计算结果考虑起落架自由放性能。如果起落架自由放性能不能满足目标要求,则需调整下位锁弹簧的参数,从而影响开锁作动筒和收放作动筒的设计。下位锁弹簧的设计参数需通过与开锁作动筒设计参数、收放作动筒设计参数和收放系统自由放性能参数进行多次迭代计算后最终确定。

在撑杆弹簧初始条件设定时,与采用受力分析确定弹簧拉力的传统方法不同,本文对弹簧拉力的初步设计主要考虑两种工况:防止因地面人员误操作而导致下位锁开锁;防止因20g过载引起的锁杆惯性力大于弹簧拉力而导致下位锁开锁^[7]。以支承式撑杆锁弹簧的布置形式为例,如图4所示,双余度下位锁弹簧应在以下两种情况下保持上锁(即上、下锁杆和弹簧保持原位):停机状态下,地面操作人员因失误而施加与下位锁挠度方向相反的力 F_a 时(2个弹簧正常工作);上、下锁杆在20g过载情况下产生垂直地面向上的质量力 F_1 和 F_2 时(1个弹簧正常工作)。

在下位锁开锁作动筒的设计

中,需要考虑在最大上锁力、最低作动效率、弹簧皆正常工作、弹簧工作拉力最大、重力与气动力严重阻碍开锁、最大接头摩擦力和最大收放作动筒载荷并存的条件下必须能使下位锁开锁;同时也要考虑下位锁开锁作动筒在最小上锁力、最高作动效率、弹簧皆正常工作、弹簧工作拉力最小、1g重力载荷、无气动力载荷、无接头摩擦力和无收放作动筒载荷并存的条件下必须不能使下位锁开锁。起落架收放作动筒的设计过程中需要考虑气动载荷、过载、舱门载荷、液压系统性能和接头摩擦力对起落架收放系统的影响。

2 撑杆锁弹簧设计举例

以某型飞机主起落架撑杆弹簧设计为例,收放撑杆的运动形式基于平面四杆机构设计^[8],下位锁系统采用双弹簧形式,起落架下位上锁状态拉簧长度 $L_{lock}=439.5\text{mm}$,收放过程中拉簧最大长度 $L_{max}=619.5\text{mm}$ 。

设定地面人员最大误操作力 $F_a=400\text{N}$,通过力平衡方法计算得出两个弹簧在下位锁上锁状态需合计提供不小于1000N的拉力(2个弹簧正常工作)以防止开锁,则单个弹簧最小工作拉力 $F_{min1}=500\text{N}$ 。通过计算得

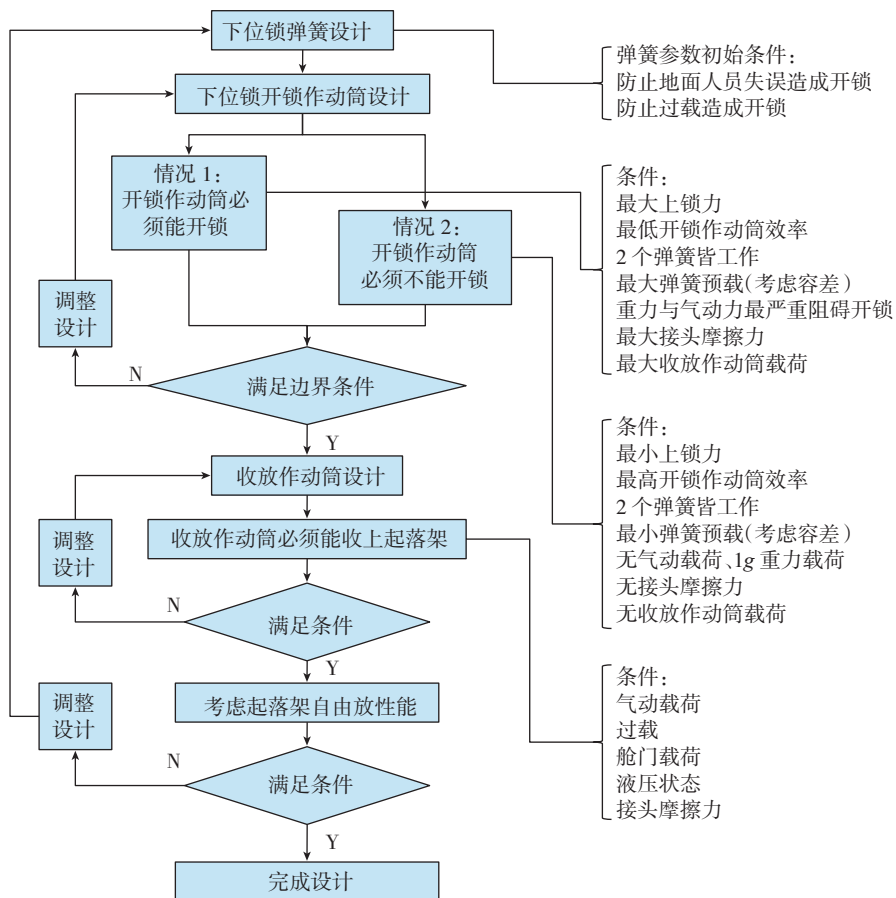


图3 撑杆弹簧设计流程

Fig.3 Design procedure of springs in down-lock mechanism

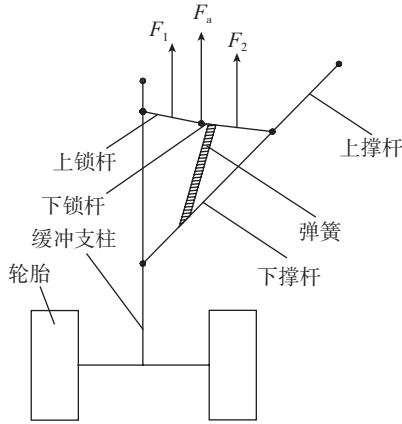


图4 撑杆锁意外开锁力示意图

Fig.4 Unlock force on down-lock mechanism

出 20g 过载工况下单个弹簧需提供 $\geq 550\text{N}$ 的拉力(1 个弹簧正常工作)克服质量力 F_1 和 F_2 以防止开锁,则单个弹簧最小工作拉力 $F_{\min 2}=550\text{N}$ 。如表 1 所示,考虑 10% 容差的弹簧最小计算拉力 $F_{\min}=605\text{N}$ 。

根据收放机构结构和运动分析,弹簧最大拉伸变化量 $h=180\text{mm}$,弹簧中径 $D=40\text{mm}$,设最大拉力为 $P=1800\text{N}$,那么需要的弹簧刚度:

$$k' = \frac{(P - F_{\min})}{h} = 6.639 \text{ (N/mm)}$$

选用 17-7PH 不锈钢丝作为弹簧材料,抗拉强度 $\sigma_b=1613\text{MPa}$,切变模量 $G=73.5\text{GPa}$ ^[9],则许用切应力:

$$[\tau] = 0.8 \times \tau_s = 0.8 \times 0.6 \times \sigma_b \approx 774 \text{ (MPa)}$$

初算簧丝直径^[10]:

$$d^4 = 1.817 \times D^{0.275} \times \left(\frac{P}{[\tau]}\right)^{0.362} = 6.802 \text{ (mm)}$$

取簧丝直径 $d=7\text{mm}$,旋绕比 $C=D/d=5.714$,曲度系数:

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} = 1.267$$

初算有效圈数:

$$n' = \frac{Gd^4}{8D^3k'} = 51.92$$

圆整后有效圈数 $n=52$,那么弹簧刚度:

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3n} = 6.628 \text{ (N/mm)}$$

据旋绕比 C 取初切应力 $\tau_0 \approx 130\text{MPa}$,则弹簧初拉力^[11]:

$$F_0 = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_0 \approx 437.8 \text{ (N)}$$

而考虑两端结构长度后的弹簧并圈高度为 414mm,那么弹簧在起落架下位上锁状态提供的拉力值为:

$$F_{\text{lock}} = (L_{\text{lock}} - 414) \times k + F_0 \approx 606.8 \text{ (N)} > F_{\min}$$

弹簧在起落架收放过程中最大长度对应的拉力值

$$F_{\text{max}} = (L_{\text{max}} - 414) \times k + F_0 \approx 1799.9 \text{ (N)}$$

验算弹簧使用过程中最大切应力:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{8F_{\text{max}}DK}{\pi d^3} = 677.1\text{MPa} < [\tau]$$

满足使用要求,撑杆锁弹簧经初步设计后的主要参数如表 2 所示。

接下来进行的下位锁开锁作动筒、起落架收放作动筒和收放系统自由放性能的设计和计算过程省略。如果收放系统自由放性能不能满足预定要求,则需调整收放机构以及下位锁弹簧的设计。重新设定下位锁弹簧的参数时,弹簧拉力必须满足防止因地面人员误操而开锁,防止因 20g 过载引起的锁杆惯性力大于弹簧拉力而开锁这两个初始条件。

表1 弹簧最小工作拉力比较

极端工况	人员操作失误	20g 过载
所需总拉力 /N	1000	550
工作弹簧数 / 个	2	1
所需弹簧拉力 /N	500	550
较大弹簧拉力 /N	550	
容差 /%	10	
弹簧最小计算拉力 /N	605	

表2 弹簧主要参数值

主要参数	数值
弹簧中径 /mm	40
簧丝直径 /mm	7
有效圈数 /mm	52
刚度 / (N·mm ⁻¹)	6.628
初拉力 /N	437.8
并圈高度 (含两端结构) /mm	414

3 结束语

本文明确了飞机起落架撑杆锁弹簧、下位锁开锁作动筒、收放作动筒及收放机构的设计顺序,介绍了一种区别于传统受力分析确定撑杆弹簧工作拉力的算法,并举了某型飞机起落架中支承式撑杆锁弹簧的设计和计算过程,形成了一套合理有效的设计方法,具有较好的可操作性和较高的工程实践价值。

参考文献

[1] 中国民用航空局. 中国民用航空规章·第 25 部民航局令第 209 号: CCAR-25-4[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
Civil Aviation Administration of China. China civil airworthiness regulation, Part 25 airworthiness standards: transport category airplanes, civil aviation administration of china order: No.209: CCAR-25-4[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2011.
[2] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第 14 册: 起落架系统陆系统设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002.

Committee of Aircraft Design Manual editorial board. Aircraft design (下转第 85 页)