



敖文伟

飞机起落架作动筒内锁研究与分析

敖文伟 裴华平 陈 红

(中航工业洪都飞机设计研究所 南昌 330024)

摘要:以卡环锁、钢球锁、指形锁3种飞机起落架作动筒内锁为研究对象,阐述了3种作动筒内锁的工作原理,分析了3种内锁核心构件的受力情况、开锁压力和工艺要求。研究分析结果表明:钢球锁上锁力小,制造、安装方便;卡环锁上锁力大,工艺要求高;指形锁上锁压力大,稳定可靠,制造、安装难度大。

关键词:作动筒内锁;核心构件;工艺要求

中图分类号:V226 文献标识码:A 文章编号:1003-8728(2012)01-0130-05

Study of Landing Gear Actuating Cylinder's Inner-lock

Ao Wenwei, Pei Huaping, Chen Hong

(Aviation Industry Corporation of China Hong Du Aircraft Design-research Department, Nanchang 330024)

Abstract: Three kinds landing gear actuating cylinder's inner-locks of aircraft: block ring lock, ball lock, finger lock are taken as study object base on some aircraft typical inner-lock practical application, the working principle of the three typical actuating cylinder's inner-locks are described, the stress and workmanship requirements of the three inner-lock key components are analysed. It is found that the ball lock requires small locking pressure and it is easy to be fabricated and installed, the block ring lock requires large locking pressure and high workmanship requirements, while finger lock also requires large lock pressure with stable working behaviour but is difficult to be fabricated and installed.

Key words: actuating cylinder's inner-lock; key components; workmanship requirements

飞机起落架收放系统中的机构运动状态可分为相对静止、开锁、放到位和上锁四个阶段^[1]。其中开锁和上锁至关重要,影响飞机飞行安全。

作动筒是飞机起落架系统的重要组成部分,为起落架、舱门的放下和收上提供动力源。在飞机作动筒设计中,为了能使作动筒杆长确定,将起落架、舱门(护板)锁住在收上或放下位置,起到上锁作用,内锁凭借其结构在作动筒内部,不需要单独在起落架支柱和机体上设置连接接点和受力接头,有简化结构和节省空间的优点^[2]。

目前,在飞机起落架系统的作动筒内锁设计中,钢球锁、指形锁(抓手锁)、卡环锁3种形式的内锁较为常见。在国内外飞机设计中,作动筒内锁大部分用于下位锁,即将起落架、护板锁在放下位置。因为如果将内锁用于上位锁,则除了要设计普通的开锁装置外,还需要设计一套人工应急放下系统^[1]。合理的作动筒内锁设计和选择能够提高起落架、舱门(护板)收上、放下的工作可靠性,从而确保飞机起降的安全性。

国内外公开的关于飞机作动筒内锁设计的研究性文章相对较少,使得国内各飞机设计所设计人员在作动筒内锁设计时一般都是借鉴自身原有图纸,制约了作动筒内锁设计的交流与发展。因此,笔者对钢球锁、指形锁、卡环锁3种形式作动筒内锁进行

收稿日期:2010-05-13

作者简介:敖文伟(1984-),工程师,硕士,研究方向为飞机起落架方面的设计与研究, aowenweigood@163.com

了研究与分析 综合比较了 3 种内锁的优缺点 给出了 3 种内锁适用的场合。

1 作动筒内锁结构

1.1 作动筒结构

以卡环锁、钢球锁、指形锁 3 种飞机作动筒内锁为研究对象。作动筒结构一般由外筒、活塞杆、活塞、弹簧、密封件和对应锁件(卡环、钢球、指形爪)等组成 如图 1 所示。为了便于上述 3 种内锁功能的比较 选择了外筒、活塞杆尺寸相近的作动筒为研究对象 与内锁工作不相关的零部件未示出。卡环、钢球、指形爪的材料、接触表面精度、硬度参数如表 1 所示。

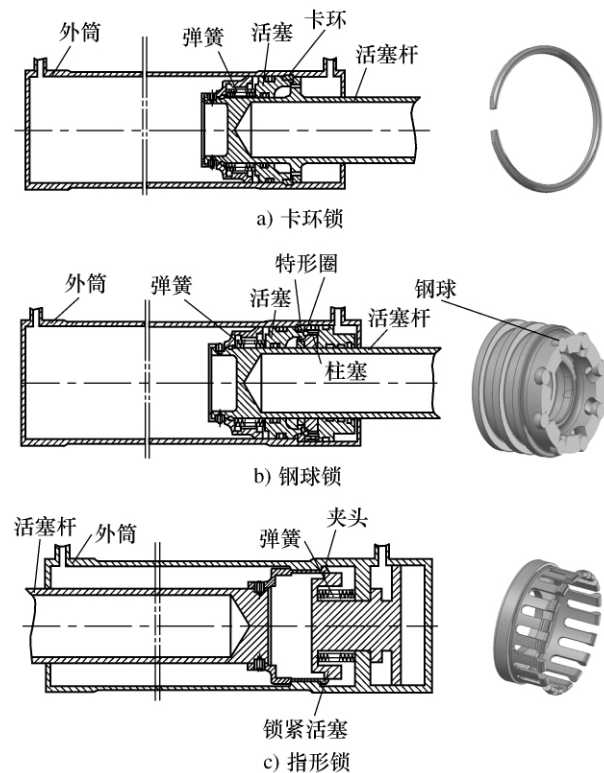


图 1 3 种作动筒内锁结构示意图

表 1 各内锁核心件相关参数

	卡环	钢球	指形爪
材料	50CrVA	GCr15SiMn/GCr15	50CrVA
表面精度	0.1 μm ~ 0.4 μm	0.1 μm ~ 0.125 μm	0.1 μm ~ 0.4 μm
硬度	HRC42 ~ HRC50	HRC60 ~ HRC66	HRC45 ~ HRC51

1.2 弹簧结构

作动筒内锁上锁和开锁是通过安装在作动筒内部弹簧的收缩而实现的。目前,在航空产业使用的

弹簧材料一般有 IIa 钢丝、50CrVA 以及 65Si2MnWA 这 3 种。作动筒内使用的弹簧一般选用圆柱螺旋压缩弹簧标准件 弹簧表面需要镀镉钝化处理。

根据作动筒内的工作环境、空间、受力情况 选择 HB3-51-d × D_w × H₀-II 类圆柱螺旋压缩弹簧 如图 2 所示 材料为 IIa 钢丝 在变载荷下循环使用次数为 10³ ~ 10⁵。弹簧的预紧压缩量可根据工作实际要求进行调节。

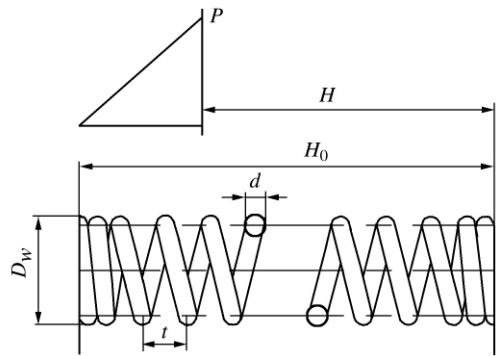


图 2 弹簧结构图

2 作动筒内锁工作原理

作动筒内锁工作主要是通过弹簧的伸缩促使内锁核心件卡环、钢球、指形爪活动而达到上锁、开锁的目的。

2.1 卡环锁工作原理

卡环锁上锁前,油液进入作动筒左腔。活塞、活塞杆、卡环及相关密封件一起向右运动 活塞杆带动弹性卡环沿外筒内表面伸展滑动。当卡环移至外筒的内槽时,卡环向外胀开,卡在槽内。此时活塞在液压及其左端弹簧挤压作用下,插入卡环内径内,限制卡环向内收缩,将作动筒锁在活塞杆全伸长位置上。需要开锁时,油液通过右侧接管嘴进入作动筒腔内,在液压作用下推动活塞左移动脱离卡环,并压缩弹簧,卡环向内收缩,脱离外筒的内槽后实现开锁。

2.2 钢球锁工作原理

钢球锁锁闭前,油液进入作动筒左腔 活塞、活塞杆和钢球一起向右移动,当与特形圈斜面接触时,钢球在斜面的作用下驱向中心,并顶住柱塞,向右压缩弹簧。同时钢球沿柱塞斜面滑动并楔在特形圈和柱塞之间,于是作动筒处于“锁闭”状态,活塞杆被锁住在全伸长位置。开锁时,油液经右侧接管嘴进入作动筒腔内,克服弹簧阻力,使活塞左移,钢球脱离特形圈落入沟槽即开锁,活塞、活塞杆便开始向左收进。

2.3 指形锁工作原理

指形锁是靠形状像手指的分离夹头,装在活塞杆上,在锁紧活塞的作用下而抓住外筒内壁,从而实

现上锁的。上锁前,锁紧夹头随活塞杆向右移动,经过外筒内表面凸台时,夹头被迫径向收缩,继续前移并顶压锁紧活塞。当越过凸台后,夹头随即向四周胀开,落在外筒的槽内,同时,锁紧活塞在弹簧的作用下伸入夹头内部,夹头被锁住不能移动,即实现上锁。开锁时,油液经右侧接管嘴进入作动筒腔内,推动锁紧活塞向右移动,使弹簧压缩,使锁紧活塞退出分离夹头。在外载荷的作用下,分离夹头退出外筒沟槽而开锁。

3 内锁核心件受力、开锁压力、工艺分析

3.1 核心件受力分析

作动筒内锁上锁过程中,液压作用于活塞杆组件,活塞挤压推动内锁核心件到对应的位置,此时内锁核心件卡环、开锁、指形爪在各种力的作用下被卡住,从而使活塞杆锁定在规定位置。核心件受力的稳定性直接影响到内锁工作的可靠性。下面对上锁时 3 种内锁的核心件进行受力分析。

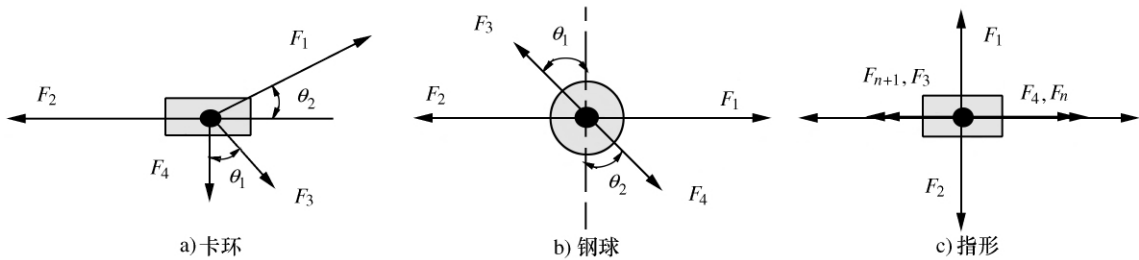


图 3 3 种内锁核心件受力矢量图

图 3 中水平方向为作动筒轴线方向,竖直方向为作动筒径向方向。

图 3a) ~ 图 3c) 为作动筒卡环、钢球、指形内锁核心件的受力图。由于研究对象卡环、钢球、指形爪的自身重力与所受其他各力相比相对较小,故在受力分析时忽略不计。 F_1 为弹簧通过活塞作用于卡环、钢球、指形爪上的力,可以通过选择弹簧种类,也可以通过调节弹簧的预紧量来改变 F_1 的大小。

图 3a) 为卡环锁卡环的受力分析图, F_1 为活塞作用于卡环上水平和竖直方向的合力, F_1 与水平方向的角度 θ_2 与活塞结构外型有关, F_2 为活塞杆作用于卡环上的力, F_3 为外筒作用于卡环上的力, F_4 为卡环自身向内的收缩力。 θ_1 为与外筒槽接触的卡环弹性斜面的角度,如图 4 所示。

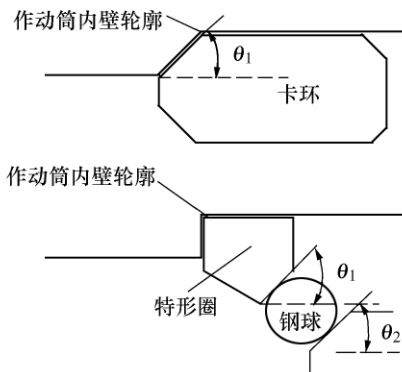


图 4 斜面角度方向图

在设计中,一般为了卡环受力的对称,工作稳定,使 $\theta_2 = \theta_1$ 。平衡方程为

竖直方向

$$F_1 \sin \theta_2 + F_3 \sin \theta_1 - F_4 = 0$$

图 3b) 为钢球的受力分析图, F_1 为活塞作用在钢球上的力, F_2 为柱塞对钢球的力, F_3 为柱塞下的斜面楔块对钢球的力,方向与斜面楔块斜面角度 θ_2 有关, F_4 为特形圈作用于钢球的力,特形圈与钢球接触的斜面角度 θ_1 影响此力方向。其平衡方程为

水平方向

$$F_1 + F_4 \cos \theta_2 - F_2 - F_3 \cos \theta_1 = 0$$

竖直方向

$$F_3 \sin \theta_1 - F_4 \sin \theta_2 = 0$$

图 3c) 为指形锁的受力分析图,由于指形锁上锁是靠锁紧活塞对指形爪子向径向往外(图中的竖直方向)的顶力实现的。指形爪子相对卡环、钢球的结构较复杂,在作动筒内接触点多,受力多,在图中没有全部表示, F_1 为锁紧活塞对指形爪子的力, F_2 为指形爪子自身的内收缩力。其平衡方程为

水平方向

$$\sum_3^{n+1} F_i = 0$$

竖直方向

$$F_1 - F_2 = 0$$

3.2 开锁压力分析

作动筒内锁开锁压力的设计是作动筒内锁设计的关键。在核心件材料确定的前提下,开锁压力与核心件外型的几何尺寸关系较大,而钢球锁中的钢球外型基本不变(为球型),故没有必要展开外形对钢球锁开锁压力影响的研究。

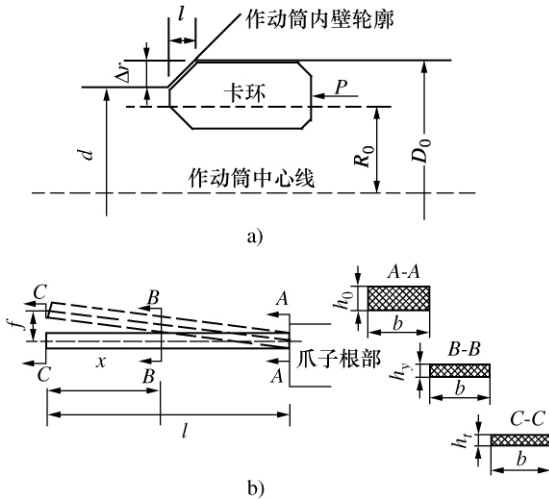


图 5 核心件几何外型图

图 5a) 中上部是卡环锁几何外型,卡环在开锁压力 P 的作用下由外径 D_0 处被推到外径 d 处的过程中,根据材料力学知识,卡环横断面弯矩和曲率变化的关系可以近似写成

$$M = EJ \left(\frac{1}{R_0 + \Delta r} - \frac{1}{R_0} \right) \quad (1)$$

由于弯曲变形而存储的位能

$$U = \int_0^s \frac{M^2}{2EJ} ds = \int_0^{2\pi(R_0 + \Delta r)} \frac{M^2}{2EJ} ds =$$

$$EJ\pi(R_0 + \Delta r) \left(\frac{1}{R_0 + \Delta r} - \frac{1}{R_0} \right)^2 \quad (2)$$

开锁压力 P 推动卡环所做的功 A 与过程无关,取决于初始状态,行程为 l 。

$$A = Pl \quad (3)$$

由能量守恒得

$$A = U \quad (4)$$

由式(1)~式(4)得

$$P = \frac{1}{l} EJ\pi(R_0 + \Delta r) \left(\frac{1}{R_0 + \Delta r} - \frac{1}{R_0} \right)^2 \quad (5)$$

式中: J 为卡环横截面的惯性矩。

由于只是介绍开锁压力设计原理,图 5b) 指形锁几何外型是在指形爪基础上简化的。结合材料力学知识,指尖位移 f 与卡锁压力 P 的关系为

$$f = \int_0^l \frac{Px^2 dx}{EJ} \quad (6)$$

横截面高度

$$h_y = h_t + \left(\frac{h_0 - h_t}{l} \right) x \quad (7)$$

由于指形锁外型原因,在设计指形锁开锁压力时还要考虑安全系数,一般

$$P' = f' P \quad (8)$$

式中:安全系数 $f' = 1.5$ 。

以核心件受力、开锁压力分析为基础,图 6 给出的是某机型起落架作动筒内锁设计过程中,接触斜面角度(图 4 中的 θ_1) 变化对开锁压力的影响。由于在工作设计中没有使用到指形锁,没有相关数据,故图中没有指形锁的开锁压力曲线。随着斜面角度的增大,卡环锁、钢球锁的开锁压力也不断增大。角度大于 50° 以后,卡环锁卡锁压力急剧上升,而钢球锁开锁压力增加相对较为平缓。其主要原因是接触斜面的角度增大,弹簧压缩的行程也增大,这就使得需要更大的开锁压力来压缩弹簧,从而使卡环、钢球从各自的槽中脱离出来以开锁。而由于卡环、钢球各自的外型结构特点,使得开锁压力随斜面角度增大而变化的程度不同。

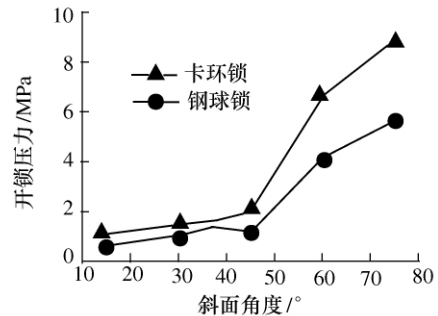


图 6 接触斜面角度对开锁压力的影响

接触斜面角度小,卡环、钢球容易从上锁位置中脱落,上锁不稳定、不可靠;接触斜面大,需要很大的开锁压力压缩弹簧,使卡环、钢球从上锁位置中脱落、开锁困难,而且对作动筒内的运动零部件磨损、冲击较大,缩短其使用寿命。

作动筒开锁压力过小,会出现作动筒在正常上锁后因系统回油压力过大而又开锁的情况;作动筒开锁压力过大,会使得开锁困难,所以飞机作动筒内锁开锁压力一般控制在 $1.2 \text{ MPa} \sim 2.0 \text{ MPa}$ 。

3.3 核心件工艺分析

作动筒内锁核心件是内锁工作的关键件,直接影响到内锁工作的准确性和可靠性,所以核心件的选材、制造、安装都有严格的工艺要求。

卡环上锁时要涨开,开锁时要收缩,这就要求卡环的材料和结构要满足一定的弹性要求。

卡环的材料选择为 50CrVA 弹簧钢,是一种合金弹簧钢,是经过 800 ℃ 以上温度油淬后再进行高温回火,具有高的强度极限、疲劳极限、弹性极限和屈服极限,能承受工作循环次数 $\geq 10^5$,有良好的塑性、冲击韧性、抗回火稳定性。

卡环结构上的弹性是通过在自身制造一缺口而得以变形的,靠卡环外圈斜面与外筒相应斜面挤压而锁住,而卡环内圈斜面引导活塞进入卡环里而将卡环胀开。外圈斜面与外筒斜面相配合,内圈斜面与活塞斜面相配合。为此,对内外圈斜面的工艺要求比较高,一般要通过精加工来保证一定的光洁度、跳动度要求。此外,为了延长卡环使用寿命,精加工后卡环的外表面要通过对应尺寸的专业工艺设备的检查,以保持圆周均匀接触,且接触面的面积大小需要严格控制,在卡环开口处,要周边倒圆,经精加工后,变薄量,变薄范围需严格要求,有效精加工时间也需严格控制。

钢球锁上锁时是点接触,不稳定,重载荷下易磨损,工作可靠性相对较差。为了使钢球锁工作可靠,必须使与钢球接触的柱塞圆筒和特形圈的硬度为 HRC60 ~ HRC64。

钢球的选择,一般根据工作实际的尺寸,选用对应的标准件。没有对应尺寸的钢球标准件时,由于我国有专业的钢球生产厂家,可与承制厂协商确定,进行对应尺寸钢球的生产。一般而言,在设计时,尽量选择标准件。钢球由高碳铬轴承钢制造,硬度一般为 HRC60 ~ HRC66。钢球的表面粗糙度是指在一部分面积内,球形偏差和波纹度以外的表面微观不平度,钢球的表面必须光洁,一般在散光等下目视检查,不允许由裂纹、凹陷和腐蚀等缺陷。

指形锁多用于套筒式撑杆内设置的一种内锁。指形爪(分离夹头)是锁的关键零件,它是一个具有特殊形面的弹簧钢制圆筒,圆周方向均匀地开有多个沟槽。它的构造虽然很轻巧,却能承受很大的载荷。

4 结论

1) 卡环锁上锁时卡环为面接触,上锁稳定可靠,可承受较大的载荷;钢球锁上锁时钢球为点接触,对零部件磨损大,上锁力小;指形锁上锁时指形爪被紧缩活塞向外顶在作动筒外筒凹槽内,上锁力大,可靠性高。

2) 卡环,指形爪在各自的接触表面要求较高的表面精度和位置度,有很高的制造、安装等工艺要求,指形锁附属零件多而且复杂,钢球有标准件可供选取,取材方便。

3) 在飞机设计中,卡环锁、钢球锁、指形锁多用于作下位锁;卡环锁、钢球锁的接触斜面角度一般选取 45°;卡环锁多用于起落架支柱收放作动筒内,钢球锁常用于面积较小、承受气动载荷小的舱门(护板)收放作动筒设计中。

[参考文献]

- [1] 顾长鸿等. 飞机起落架上位锁机构可靠性分析[J]. 北京航空航天大学学报, 1995, 21(4): 18 ~ 22
- [2] 高泽迎. 飞机设计手册第 14 册起飞着陆系统设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002
- [3] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992
- [4] 杨后川, 高昆, 陈勇. 起落架收放作动筒液压测试系统的 PLC 设计[J]. 机电产品开发与创新, 2008, 21(2): 129 ~ 135
- [5] 冯蕴雯, 国志刚, 宋笔锋. 如何确保飞机起落架收放锁系统的可靠性[J]. 西北工业大学学报, 2005, 23(2): 171 ~ 175
- [6] Lee H. *Modeling of a Hydraulically Damped Pyrotechnic Actuator*[R]. Orlando Florida: Aircraft Industries Association of America, 2009
- [7] 葛文军, 汪定江, 陈名华等. 飞机作动筒活塞杆的摩擦电喷镀修复工艺[J]. 材料保护, 2008, 41(4): 59 ~ 61
- [8] 李续庆, 陈作模. 机械设计基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999