

枢轴式后缘襟翼驱动连杆结构设计要点分析

Structural Design Analysis on Drive Link of Pivot Flap

中国商飞北京民用飞机技术研究中心 周 彬

[摘要] 现阶段先进民用客机正在发展和应用枢轴式后缘襟翼,如 A350、B787 等。此类后缘襟翼的运动机构与典型的“滑轨-滑轮架”式不同。参考 A350 的相关设计,介绍枢轴式后缘襟翼驱动连杆的结构设计思路并就其要点进行分析。

关键词: 枢轴后缘襟翼 破损-安全 防转 限位 润滑

[ABSTRACT] Pivot flap mechanism is currently under development for the latest advanced civil aircraft, such as A350, B787 and so on. The kinematic mechanism of pivot flap is different from “Track-Pulley bracket” mechanism. Reference to A350, the design approach of pivot flap is introduced, and the key point in the structural design is analyzed.

Keywords: Pivot flap Fail-safe Anti-rotate Limit location Lubrication

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.10.083

目前,民航飞机的巡航速度越来越快,同时又要求飞机的起飞、着陆速度控制在合理的范围内;这就需要飞机安装高升力的增升装置。通常飞机的增升装置包括前缘缝翼和后缘襟翼,其收放机构的设计是一项独特而复杂的工作^[1]。

随着科技的发展,比如三维仿真技术的提高,后缘襟翼的收放机构向简单、高效的方向发展。空客、波音最新型的民用客机都采用了枢轴式后缘襟翼,此类襟翼其整流罩比传统飞机的要小得多,结构重量相对较小。由于这个特性,降低了油耗和成本,同时获得了高效的升阻比性能。另一方面,结构上取消了滑轨,减少了结构零部件,维修随之减少也易于维护。

空客飞机多采用单缝式富勒襟翼,每片襟翼与机翼后梁多点连接。以空客 A350 为例,单边机翼上设计有两片襟翼,内襟翼和外襟翼;每片襟翼由两个驱动连杆驱动。第 1 支点和第 2 支点安装连杆驱动内襟翼,第 3 支点和第 4 支点安装连杆驱动外襟翼,如图 1 所示。内襟翼的运动轨迹相对于外襟翼来说简单,襟翼载荷也比较小。故选取外襟翼第 3 支点进行驱动连杆结构设计分析。

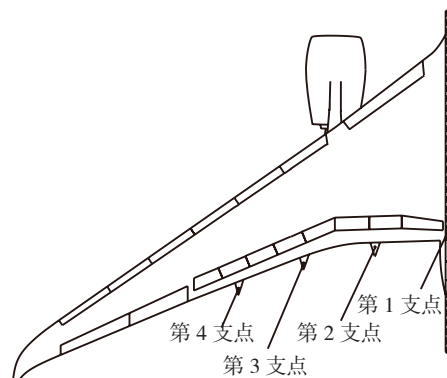


图1 后缘襟翼驱动机构布置
Fig.1 Drive mechanism layout of flap

1 驱动连杆功能简述

枢轴式后缘襟翼不同于传统滑轨式襟翼,采用连杆机构驱动襟翼做近似圆周运动。连杆机构分两段,上端 H 型连杆连接到固定在机翼后梁的悬臂肋上,与齿轮箱连接传递驱动载荷;下端 A 型连杆连接到襟翼接头上,驱动襟翼。同时,悬臂肋上有一旋转中心,在旋转中心通过一接头将悬臂肋和襟翼连接起来控制运动轨迹;襟翼可在齿轮箱的驱动下绕旋转中心转动,如图 2 所示。

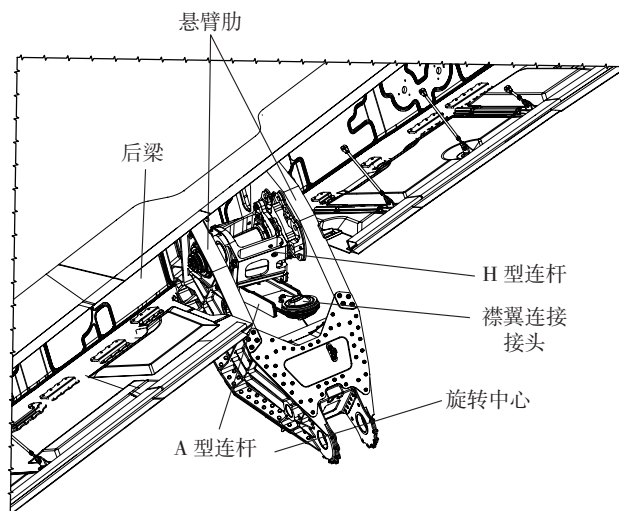


图2 后缘襟翼驱动连杆装配图
Fig.2 Assembly diagram of drive link of flap

2 驱动组件细节设计要点分析

驱动连杆结构设计基于三维运动机构设计和设计分离面。当运动构件和运动轨迹确定后(图3);以此为基准设计结构件,之后经强度校核和三维干涉检查。强度按破损安全多传力途径结构件校核,三维干涉检查要求驱动连杆在运动方向与其他结构件至少有25mm间隙。

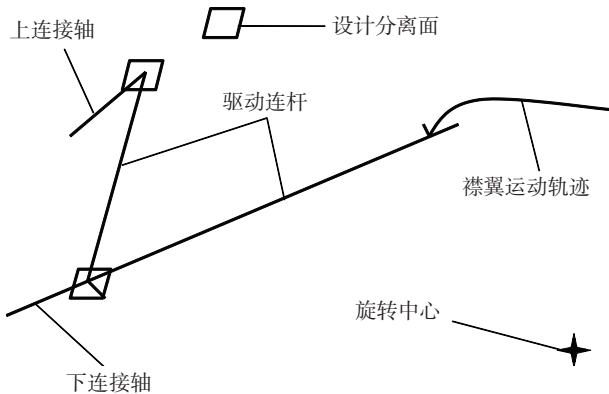


图3 运动机构设计和设计分离面 (红色点、线、面)
Fig.3 Kinematic and interface plane (red point, line, plane)

2.1 破损 - 安全设计及主传力分析

当一个结构件破坏后,要求^[2]:

$$\eta_{fa} \geq \eta_e = \eta_d f \quad (f=1.5),$$

$$N_{ex,fa}/4 \geq H,$$

式中, η_{fa} 为含损伤结构的剩余强度系数; η_e 为使用强度系数; η_d 为设计强度系数; f 为强度安全系数; $N_{ex,fa}$ 为疲劳试验寿命; H 为检查周期。

襟翼驱动连杆为破损 - 安全多传力结构,即主承力构件破损后,仍可通过其他破损 - 安全构件传递载荷。驱动连杆和连接轴都为破损 - 安全结构件。

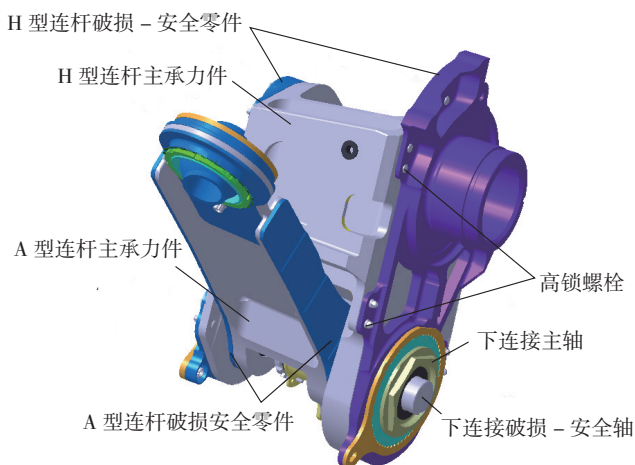


图4 驱动连杆部件
Fig.4 Drive link

驱动连杆分为2段,H型连杆和A型连杆。每段连杆都有3个零件组合而成,一个主承力零件,材料为高强铝合金;2个破损 - 安全零件,材料为钛合金。3个零件由一系列高锁螺栓连接起来,如图4所示。连接轴共有4根,2根主轴,2根破损 - 安全零件,材料都为钛合金。上连接轴连接H型连杆和悬臂肋,下连接轴连接H型连杆和A型连杆,如图4所示。

驱动载荷通过齿轮由齿轮箱传递到内侧的H型连杆破损 - 安全零件,再传递到整个H型连杆;然后通过下连接轴传递到A型连杆;最后通过襟翼接头传递到襟翼上,驱动襟翼运动。

2.2 防转(防松)设计

在连杆结构细节设计中,只要有相对转动趋势的结构件之间,必须要有防转的设计以避免零件之间产生转动摩擦或松动。如轴承外圈与孔之间、轴承内圈与轴之间、主轴与安全 - 破损轴之间和螺母等。转动运动只发生在轴承内、外圈之间。

防转的常见类型有防转垫片、防转板、防转衬套和防转垫圈、防转螺母等,如图5和图6所示。

2.3 选择轴承设计

轴承是一个支撑轴的零件,它可以引导轴的旋转,也可以承受轴上空转的零件。载荷是选用轴承的最主要因素。滚子轴承用于承受较重的载荷,球轴承用于承受较轻的或中等载荷。

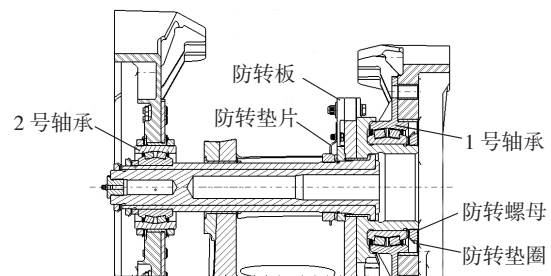


图5 上连接轴剖面图
Fig.5 Section of upper connection

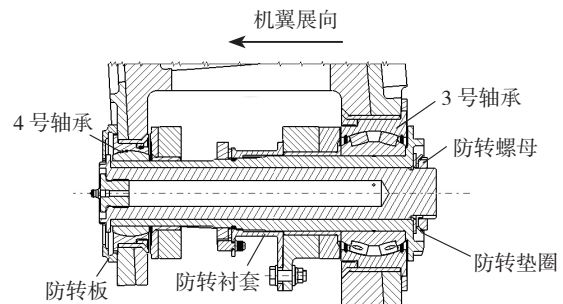


图6 下连接轴剖面图
Fig.6 Section of lower connection

设计中根据载荷的不同,选择不同类型的轴承以满足要求。襟翼驱动连杆共有5处安装了轴承,支撑上连接轴2处,支撑下连接轴2处,连接襟翼接头1处。

1号和2号轴承支撑上连接轴,将整个驱动连杆固定在悬臂肋上并具有轴向定位作用。驱动连杆由齿轮箱得到驱动力并传递到襟翼接头上,而齿轮箱布置在机翼内侧;故在第3支点上,内侧的1号轴承径向载荷较大并承受一定的轴向载荷。外侧的2号轴承承载形式与1号轴承相同,载荷较小。1、2号轴承选用调心滚子轴承,如图5所示。

3号和4号轴承支撑下连接轴,将H型连杆和A型连杆连接在一起。与上连接轴1号轴承类似,内侧的3号轴承径向载荷较大并承受一定的轴向载荷,故选用调心滚子轴承。4号轴承径向载荷较小,也不承受轴向载荷,故选用球面滑动轴承,如图6所示。

5号轴承将驱动连杆和襟翼接头连接在一起,其承受径向、轴向载荷的同时存在的联合载荷,可在一定角度范围内作运动。故5号轴承选用球面滑动轴承,如图7所示。

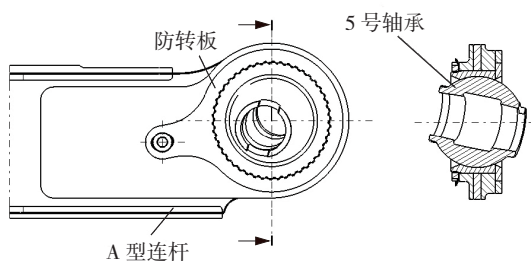


图7 驱动连杆与襟翼接头连接处

Fig.7 Connection between drive link and flap fitting

2.4 润滑设计

对轴承来说,润滑是左右其性能的重要因素。润滑剂或润滑方式合适与否将大大影响轴承的寿命。润滑方式主要分为脂润滑和油润滑。驱动连杆所用轴承都采用了油润滑。

润滑剂的更换或补充需要考虑结构通路问题。如上连接轴内侧轴承安装后,外圈结构空间开敞,便于补充润滑剂,不需要额外考虑;而上连接轴外侧轴承安装后,轴承周围都已被其他结构件包围,没有结构通路去补充润滑剂。故在上连接轴破损-安全轴外侧钻了一个空腔,并用螺帽、堵头封闭。空腔内储存润滑油,维护时通过打开堵头来补充润滑油。空腔内在轴承处开有4个 $\phi 2.5\text{mm}$ 的孔,贯穿主轴和破损-安全轴。这样润滑油就能从空腔流到轴承内,如图8所示。

2.5 限位机构设计

实际上襟翼驱动连杆是一个摇臂机构,整个驱动连

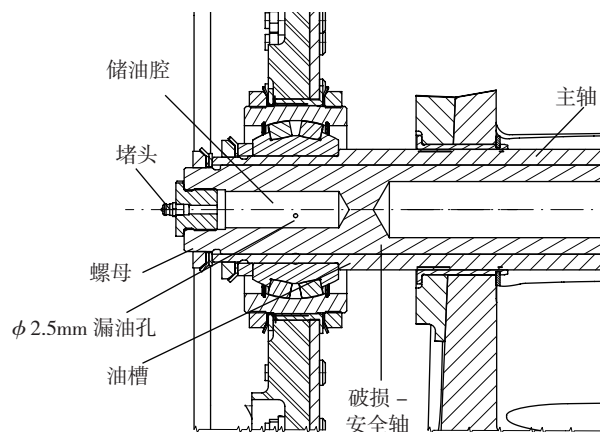


图8 轴承润滑通路

Fig.8 Access of Bearing lubricate

杆通过轴承固定在悬臂肋上,从齿轮箱传递驱动载荷到襟翼。襟翼的运动轨迹及起始、终止位置都是确定的。为保证驱动连杆在齿轮箱的驱动下正常工作,就必须设计限位机构来控制驱动连杆的起始和终止的位置^[3]。

限位机构设计时要充分考虑到机构的可靠性和重量。概念设计时,定位销或限位块设计在H型连杆和A型连杆上,通过控制两者之间的相对位置来限位。这种设计加大了结构重量,同时,空间紧张也加大了结构设计难度。后期在产品设计时,改进了设计思路。限位块设计在H型连杆破损-安全零件和加强结合盘上,受力直接,功能可靠,如图9所示。

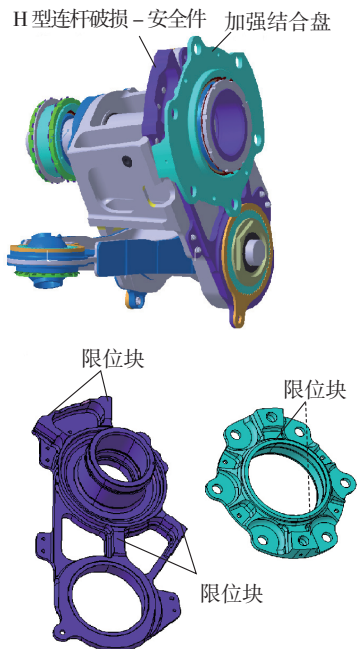


图9 驱动连杆限位机构

Fig.9 Limit location mechanism of drive link

(下转第89页)

导,得到最大速度和最大加速度响应曲线,最大响应速度达到 $300^\circ/\text{s}$,最大加速度达到 $35000^\circ/\text{s}^2$,静态、动态性能都满足技术指标要求。图 6 为双马达同步驱动控制在某三轴液压转台上的成功应用。

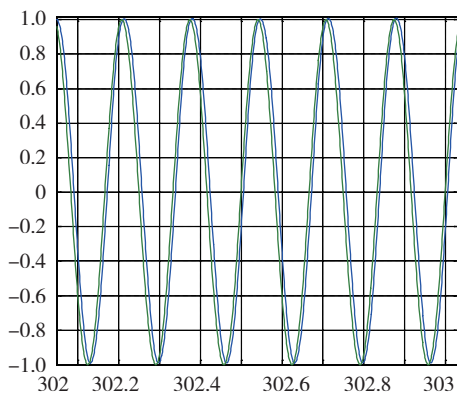


图5 双十指标(6Hz)曲线
Fig.5 6Hz curve

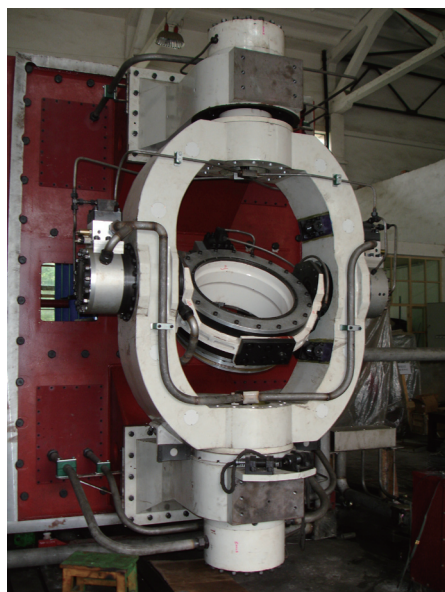


图6 双马达同步驱动控制在某三轴液压转台上的应用
Fig.6 Application of DMSC on three-axis hydraulic motion simulator

参考文献

- [1] 徐东东,万红坡,孙志朋,等.基于 LabVIEW 的液压泵站远程监控系统设计与实现.液压气动与密封,2011(8):41-43.
- [2] 李尚义,赵克定,吴盛林.三轴飞行仿真转台总体设计及其关键技术.宇航学报,1995,16(2):63-66.
- [3] 李军伟,赵克定.液压仿真转台中枢等同式同步控制系统的研究.液压与气动,2004(12):31-32.
- [4] 于双,王旭永,陶建峰.三轴转台中枢双马达驱动控制技术研究.液压与气动,2006(8):46-49.

[5] 陶建峰,王旭永,刘成良,等.负载变形敏感双马达同步驱动系统建模与仿真.系统仿真学报,2007,19(7):1574-1578.

[6] 陶建峰.电液伺服转台及其关键技术研究[D].上海:上海交通大学,2008.

(责编 玲犀)

(上接第 85 页)

2.6 衬套设计

飞机结构设计中,衬套一般用在不同材质的结构件之间,避免轴与孔直接接触挤压、摩擦等。有些时候,也用作轴向定位件使用。

襟翼驱动连杆中所用衬套根据功能主要分为两种:

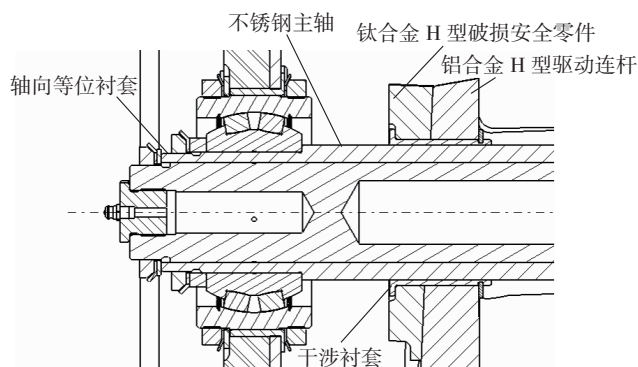


图10 2类典型衬套(干涉衬套、轴向定位衬套)
Fig.10 Two kinds of typical bush (frozen bush, locate bush)

一种干涉衬套以大干涉量装配在孔内,以提高孔的挤压强度、疲劳性能等;一种作为轴向定位件以间隙配合装配在轴上,如图 10 所示。

3 结论

在一定的结构空间内,根据运动机构设计和设计分离面来进行襟翼驱动连杆的结构设计。整个驱动机构按破损-安全多传力结构来设计与校核。

为确保驱动连杆功能的有效实施,结构设计时除考虑强度因素外,还须注意结构件的防转、防松,轴承的选择与润滑,限位机构的设计,衬套的选择与应用,以及维护方便等因素。

参考文献

- [1] 牛春匀.实用飞机结构工程设计.北京:航空工业出版社,2008.
- [2] 王远达,梁永胜,王宏伟.飞机结构的耐久性与损伤容限设计.飞机设计,2009,29(1):37-43.
- [3] 严少波,黄建国.飞机后缘襟翼运动同步性设计和计算.民用飞机设计与研究,2011(1):20-24,32.

(责编 日午 亿霖)