

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2019.02.019

基于虚拟铰链打开机构的舱门 提升机构研究

The Study on Lift Mechanism of Aircraft Door Based On Virtual Hinge Mechanism

马 岩 李忠霖 / MA Yan LI Zhonglin

(中航沈飞民用飞机有限责任公司, 沈阳 110000)

(AVIC SAC Commercial Aircraft Company Ltd., Shenyang 110000, China)

摘 要:

介绍了民用飞机半堵塞式舱门常用的虚拟铰链打开机构,分析了其工作原理及优缺点。阐述了基于虚拟铰链打开机构的舱门提升机构两种典型方案,包含机构运动原理分析、舱门提升位置锁定方式等内容。在此基础上,给出了一种舱门提升打开联动机构方案,分析了该机构相对典型方案的主要优势,为半堵塞式翻转舱门的打开机构和提升机构设计提供了参考。

关键词:提升机构;虚拟铰链打开机构;提升打开联动机构;自由度

中图分类号:V223+.9

文献标识码:A

OSID:



[Abstract] This paper introduces the motion principle of virtual hinge mechanism. According to the characteristics of virtual hinge mechanism, two typical solution of lift mechanism are approved, including the analysis of motion principles, the method of locking door in uplift position, etc. This paper gives a lifting-opening linkage mechanism and analyzes the advantages of the mechanism. The mechanism could provide a reference to design of semi-plug door lift and open mechanism.

[Keywords] lift mechanism; virtual hinge mechanism; lifting-opening linkage mechanism; degree of freedom

0 引言

半堵塞式^[1]翻转型舱门提升完成后,舱门处于机身开口的外侧上部,为了避免翻转打开过程中与机身结构干涉,舱门打开过程中的旋转轴线需要布置于机身外侧或上部。受到机身结构、气动要求、舱门机构布置等因素制约,旋转轴线无法直接布置于机身外侧,所以目前主流半堵塞型翻转式舱门如波音 777 货舱门,波音 757 前/后货舱门,C 系列应急门、货舱门等都采用虚拟铰链机构^[2]作为舱门的打开机构。

虚拟铰链机构只有一个自由度,只能实现舱门的翻转运动,在舱门提升阶段,需要设计相应的机构,使其能在提升过程中随动。如何基于虚拟

铰链打开机构,设计舱门提升机构,使机构简单并满足运动功能及强度^[3]要求,是舱门设计的一大难题。

1 虚拟铰链打开机构

虚拟铰链机构可以实现舱门打开过程中,舱门结构围绕机身外侧虚拟铰接位置旋转运动,其基本构型如图 1 所示。

机构由固定端 AB、连杆 ADE、CDF、BC、GE 以及舱门结构 GF 构成。连杆 AD、BC、AB 及 CD 铰接连接构成一套平行四杆机构。通过铰接点 F 绘制平行于连杆 BC 的直线,通过与机身铰接点 A 绘制平行于连杆 DF 的直线,定义两条直线的交点为虚约束点 H。HFBC 同样为平行四杆机构,铰接点 F

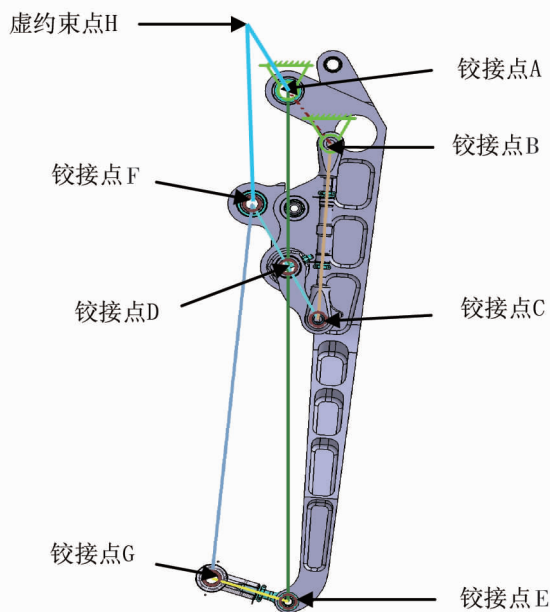


图 1 虚拟铰链打开机构

将围绕虚约束点 H 旋转。

四边形 EDFG 可以依据舱门方案选择平行或非平行四杆的形式。如果四杆机构 EDFG 为平行四杆机构,则对于平行四杆机构 HAEG,连杆 HA,DF,GE 都可以看成虚约束,则铰接点 G 同样沿着虚约束点 H 旋转,这样舱门翻转打开过程中,舱门结构会始终围绕点 H 旋转。如果四杆机构 EDFG 不是平行四杆机构,在翻转打开过程中,除了铰接点 F 围绕虚约束点 H 旋转外,舱门自身还围绕铰接点 F 旋转,舱门的运动是这两种运动的复合。

2 基于虚拟铰链机构的提升机构方案分析

上述虚拟铰接机构只能实现舱门的翻转运动,无法在舱门提升过程中随动。针对虚拟铰链机构与舱门提升运动协调问题,目前行业内主要有以下两种解决方案。

2.1 采用两套独立机构

两套独立机构的设计理念是通过增加连杆数量来增加机构的自由度。舱门提升结束后,再通过单独的锁定机构,限制部分机构的运动,减少自由度,以实现打开运动。图 2 为波音 777 散货舱门^[4]的示意图。打开机构选用虚拟铰链机构,再添加一套四杆机构作为提升随动机构,两套机构通过铰接连接。

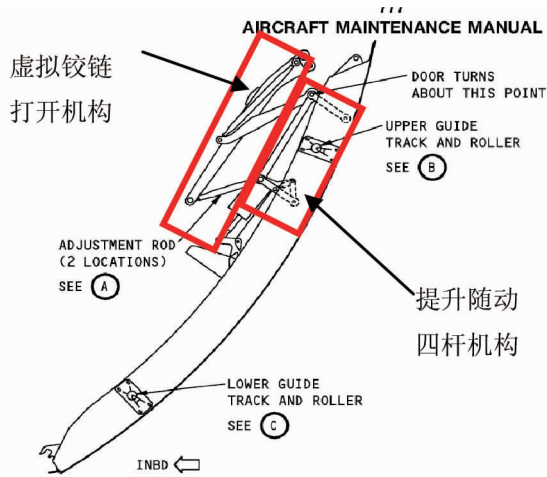


图2 波音777散货舱门提升及打开机构

本方案依靠闫机构提升舱门,所以还要有一套提升主动机构,具体形式不展开说明。从功能上来说,当舱门依靠闫机构提升时,图2中的提升随动四杆机构转动,控制舱门沿提升轨迹线运动,并带动虚拟铰链机构随摆。提升结束后,提升导轮与导槽的高副连接不再起作用,因此还需要单独设计一套锁机构,在提升结束后,锁定提升随动四杆机构,使舱门可以依靠虚拟铰链机构打开。

2.2 断开机构

断开机构的设计理念是通过减少铰接点数量来增加机构的自由度。图 3 为某舱门虚拟铰链打开机构示意图。如图 3 所示,该机构中舱门结构与铰接点 F 不是铰接关系,连杆 FH 与连杆 CDF 铰接连接。连杆 HK 通过点 K 与舱门结构铰接。

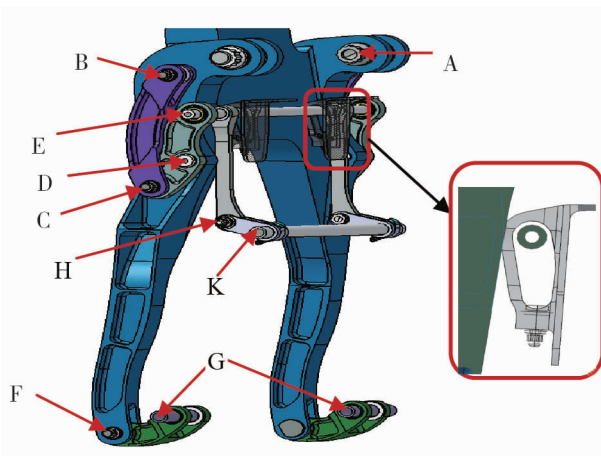


图 3 断开机构示意图

依据平面自由度公式计算机构的自由度^[5]:

$$F = 3 \times N - 2 \times P_l - P_b \quad (1)$$

本套机构共包含连杆 8 根(一为舱门结构),去掉一根固定连杆(机身结构),计入 7 根。本套机构共包含 9 个铰接连接。所以本机构的自由度:

$$F = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 0 = 3 \quad (2)$$

要实现提升运动,机构的自由度需降为 1,所以本套机构需要两个高副,即上下两条提升线控制舱门提升运动。

舱门提升结束后,提升导轮不再与导槽接触,机构失去两个高副,自由度又变为 3。在舱门打开时,内部锁锁定连杆 HK 的转动副,也就是锁定了机构自由度,机构的自由度降为 2,还需要一个高副,才能实现机构的运动。在连杆 CDF 的铰接点 F 处固联一个导轮,在舱门结构上设计一个凸轮槽,通过凸轮槽限制导轮 F 的运动。在打开阶段,凸轮槽与导轮之间接触,形成一个高副,限制了舱门结构相对于打开机构的运动形式。加上这个高副后,本套机构的自由度降为 1,虚拟铰链机构可以作为打开机构驱动舱门。

3 提升打开联动机构

上述两种方案,虽能实现功能要求,但存在机构复杂、占用空间大、质量重和承载效果不好等问题。基于上述问题,本文给出了一种提升打开联动机构方案。

如图 4 所示,为解决虚拟铰链机构在舱门提升过程中随动的问题,对虚拟铰链机构作一定的修改,舱门结构不再与铰接点 F 铰接,铰接点 F 与新添加连杆 B 铰接,连杆 B 另一端与舱门结构铰接。连杆 B、连杆 C、舱门结构、机身固定端可以看成近似四杆机构,控制舱门提升过程中的运动。

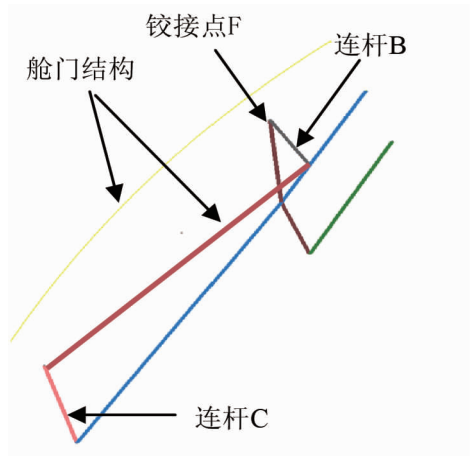


图4 提升随动机构原理图

添加了一根连杆后,依据式(1)计算本套机构的自由度 F ,其中 $N=6, P_L=8$ 。

$$F = 3 \times 6 - 2 \times 8 - 0 = 2 \quad (3)$$

所以本机构还需要一套高副连接的导向机构配合,在舱门提升阶段,控制舱门的运动轨迹,将机构的自由度降为 1。

本套机构只增加一根连杆,就有效地解决了虚拟铰链机构无法在舱门提升过程中随动的难题,其简洁性已经显著超过了两套独立机构分别控制的方案。但仍需要设计锁机构,在提升结束后,锁定上述机构的一个自由度,以实现打开机构的功能。

为了进一步简化机构,将提升主动机构也设计在这套机构之中,并利用锁定提升机构的内部锁,锁定舱门完全提升位,以达到减少一套提升位置锁定机构的目的,其构型如图 5 所示。

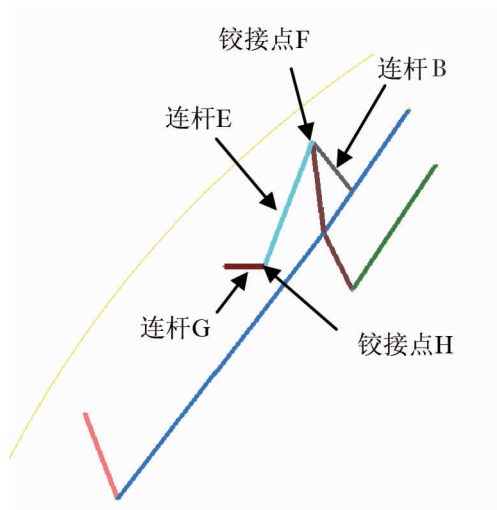


图5 提升打开联动机构原理图

在图 4 方案的基础上,添加连杆 E 和连杆 G 作为舱门的提升主动机构。连杆 G 与舱门结构铰接,连杆 E 与铰接点 F 连接。当转动手柄时,通过其他机构的传动,连杆 G 旋转,而铰接点 F 与悬挂臂相连,可以看作近似静止,所以舱门会相对铰接点 F 向上运动,从而实现了舱门的提升。本套机构采用一组导向机构配合,本套机构的自由度 F 为:

$$F = 3 \times 8 - 2 \times 11 - 1 = 1 \quad (4)$$

提升结束后,导向机构的高副不再起作用。以内部锁锁定手柄轴,也就是锁定了铰接点 H 的位置,这样本机构的自由度仍然为 1,可以实现单一打开运动。

本套机构采用提升机构与虚拟铰链打开机构联动的方法,打开机构也承担了提升的功能,一杆多用,相较于两套独立的机构方案,减少了两根连杆,机构得到很大的简化。机构间全部为铰接连接,无断开连接,承载性能更加优异。本套机构由内部锁锁定手柄轴的旋转运动,间接锁定了虚拟铰链打开机构上部连杆与机身的铰接关系,即内部锁同时起到了提升位置锁的作用,不再需要单独设计一套提升位置锁机构锁定提升机构,机构更简洁。

依据机构原理图,设计完成舱门的提升打开联动机构构型如图 6 所示。

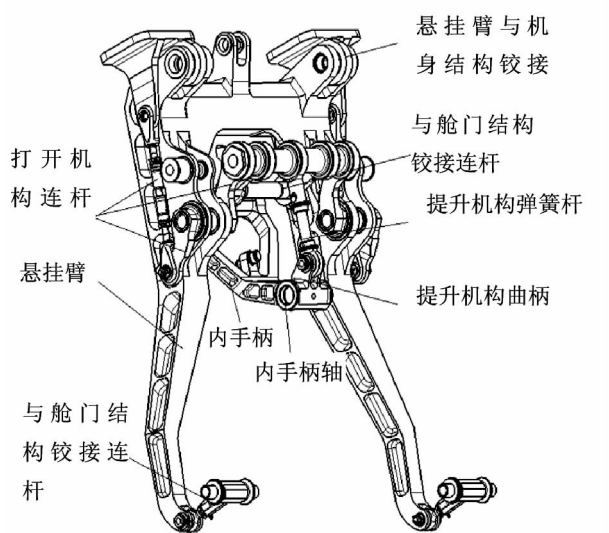


图 6 提升打开联动机构示意图

4 结论

基于虚拟铰链打开机构的舱门提升机构形式多样。本文给出的提升打开联动机构,通过提升线及提升位置锁机构的配合,可以实现舱门的提升和翻转两种运动,其机构形式简单,提升和打开运动转换连贯,对比现有典型机构方案具有明显的优势。

提升打开联动机构可以应用于向内向上提升、向外翻转打开的半堵塞式客机舱门中。通过机构构型优化,提升打开联动机构还适用于平行和周向布置挡块两种形式的舱门提升运动方案。

参考文献:

- [1] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册 第 10 册:结构设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2000:267.
- [2] 陶金库. 民用客机机翼上部应急门解决方案[J]. 飞机设计, 2015, 35(6):39-41.
- [3] 姚雄华, 邓军锋, 冯蕴雯, 等. 运输类飞机舱门设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2017:17.
- [4] Boeing-777 aircraft maintenance manual, chapter 52: doors [M] [S. l.]: Boeing, 2008.
- [5] 冯仁余, 石红霞. 机械常用机构设计与禁忌[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014:9.

作者简介

马 岩 女, 学士, 高级工程师。主要研究方向: 飞机结构设计。E-mail: ma. yan@ sacc. com. cn

李忠霖 男, 学士, 工程师。主要研究方向: 飞机强度设计。