

飞机维护舱门助力机构设计选型研究

李兴福 安彦

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

【摘要】：舱门作为一种运动部件，在大型飞机特别是民用飞机中有重要且特殊的地位，舱门种类较多，包括登机门、货舱门、服务门和应急舱门等。因为舱门的设计必须满足刚度、强度、疲劳、可靠性等要求，所以大部分舱门的重量比较重，尤其是上下方向开启的舱门，在开关的过程中需要花费大的力气，此时在舱门上增加助力机构就显得尤为必要。本文通过开展某型维护舱门结构动力学分析，建立舱门动力学模型，经过三种方案对比，考虑结构和多体动力学因素，确定舱门开启助力机构的最优方案。

【关键词】：舱门机构；助力机构；气弹簧；卷收器；设计选型

Research on Design Selection of Aircraft Maintenance Cabin Door Power Assisted Mechanism

Xingfu Li, Yan An

Avic Xi'an Aircraft Industry Group Co., Ltd. Shaanxi Xi'an 710089

Abstract: As a moving part, the cabin door has an important and special position in large aircraft, especially civil aircraft. There are many types of cabin doors, including boarding doors, cargo doors, service doors and emergency doors. Because the design of the cabin door must meet the requirements of stiffness, strength, fatigue, reliability, etc., most of the cabin doors are relatively heavy, especially the cabin doors that open up and down. It takes a lot of effort in the process of opening and closing. It is particularly necessary to increase the power assist mechanism on the hatch. In this paper, by carrying out the structural dynamics analysis of a certain maintenance hatch, the hatch door dynamics model is established. After comparing three schemes, considering the structural and multi-body dynamics factors, the optimal scheme of the hatch door opening assist mechanism is determined.

Keywords: Cabin door mechanism; Power assisted mechanism; Gas spring; Retractor; Design selection

1 绪论

舱门作为一种运动部件，在大型飞机特别是民用飞机中有重要且特殊的地位，舱门种类较多，包括登机门、货舱门、服务门和应急舱门等。因为舱门的设计必须满足刚度、强度、疲劳、可靠性等要求，所以大部分舱门的重量比较重，尤其是上下方向开启的舱门，在开关的过程中需要花费大的力气，此时在舱门上增加助力机构就显得尤为必要。

本文所描述的维护舱门在机身下腹部，门体 40kg 左右，开启角度为 60°，为门梯合一式舱门。维护人员进出时需携带设备重达 100kg，因此维护舱门需具有良好的踩踏性能。舱门门体的结构和机构的可靠性、稳定性将直接影响飞机飞行的可靠性和维护舱门的操纵、使用性能。本文通过开展某型维护舱门结构动力学分析，建立舱门动力学模型，经过三种方案对比，确定舱门开启助力机构的最优方案。

维护舱门门体机构包含门体提升机构和锁止机构两大部分，门体提升机构主要控制维护舱门打开和关闭过程上下运动，门体锁止机构控制门体的锁止和解锁。门体提升机构主要由气弹簧、提升拉杆组成，开门过程气弹簧主要起到缓冲、减震、降低噪音等功能，关门过程气弹簧主要起到助力功能；门体锁止机构主要有手柄、连杆、预紧力弹簧、3 把插销锁机构组成，门体锁止状态阻止门体打开，防止门体自由掉落，解锁后门体可以正常打开。

2 维护舱门助力机构分析及选型

2.1 维护舱门助力机构方案简介

根据维护舱门功能特点，设计出三套不同的维护舱门助力机构方案，通过多体动力学分析，进行不同方案的对比分析，从而得出不同方案的可靠性、可行性。

方案一助力机构主要由气弹簧和提升拉杆组成，气弹簧布置在维护舱门左侧。方案二助力机构气弹簧采用左右对称布置，通过气弹簧过死点的设计使梯子自锁，因此去掉梯子锁机构；下提升拉杆采用联动式的设计。方案三助力机构采用绳索机构控制门的打开和关闭，绳索通过卷收器控制收放。舱门锁止机构主要由 3 把插销锁和 1 把梯子锁及手柄组成，在门体内部。

三套不同的维护舱门方案如图 1 所示。

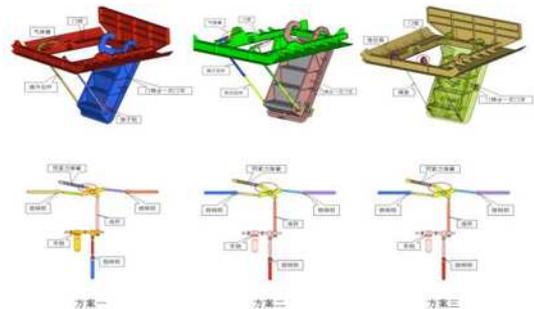


图 1 维护舱门机构方案

2.2 方案一 多体动力学分析

根据维护舱门多体动力学计算结果，门在手柄力作用下解锁，解锁完成后，门在重力的作用下打开，由于气弹簧产生缓冲阻碍门打开的力，门缓慢打开，并最终保持半打开的状态，然后通过对梯子施加外力使门完全打开，并触发梯子锁锁住机构。关门过程中，解除梯子锁，人扶梯产生向上的力，与气弹簧的伸展力共同作用使门关闭，门体开关过程如图 2 所示。

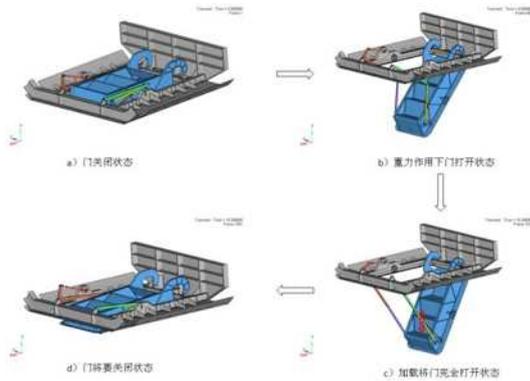


图 2 维护舱门开门关门过程

根据多体动力学仿真分析计算结果，手柄的最大开启力和关闭力仅为 28N，主要克服插销锁机构中预紧力弹簧产生的力，手柄力计算曲线如图 3 所示。

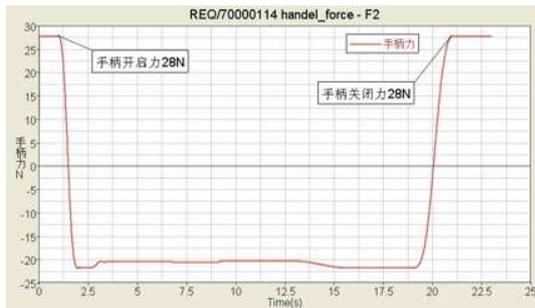


图 3 维护舱门手柄力

如图 4 所示，维护舱门开门过程中，气弹簧的时间行程为 A 段，行程为 86mm，并没有达到气弹簧的最大行程量，说明门处于半打开悬空状态；在外力作用下将门完全打开为 B 段，此时达到气弹簧最大行程量 94.5mm；关门过程为 C 段，关闭过程中，气弹簧行程逐渐变为 0mm。

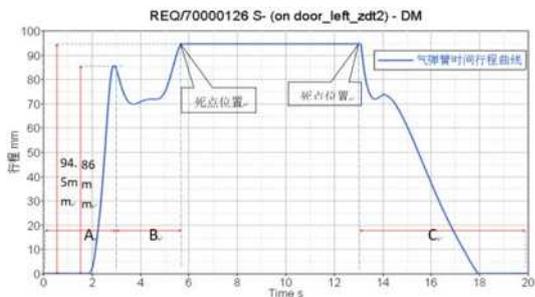


图 4 维护舱门开门关门过程

气弹簧行程力值曲线如图 5 所示，开门过程中，气弹簧受压缩力，气弹簧行程为 0 时，最小压缩力为 1418N，门完全打开状态，气弹簧行程达到最大，压缩力 1985N；关门过程，气弹簧主要受伸展力，关门初始时刻行程最大，伸展力为 1624N，门完全关闭气弹簧行程回到 0，气弹簧最小伸展力为 1160N。

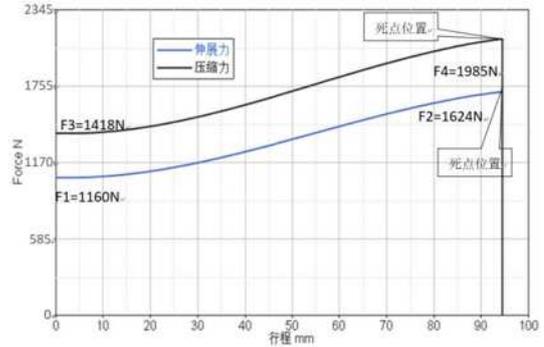


图 5 维护舱门开门关门过程

2.3 方案二 多体动力学分析

方案二采取左右对称的机构布置，左右两侧各布置一气弹簧，并采用过死点自锁的设计；如图 6 所示。

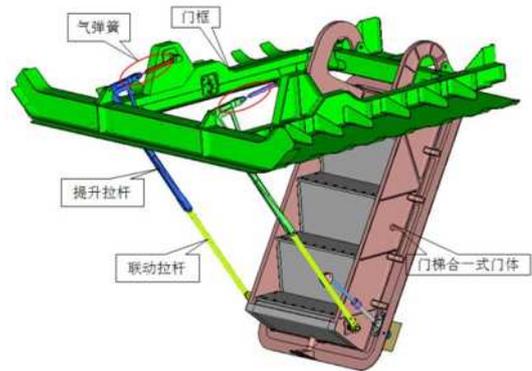


图 6 维护舱门方案二结构

按照方案一中的方法，重新确定气弹簧的特性曲线如图 7 所示。

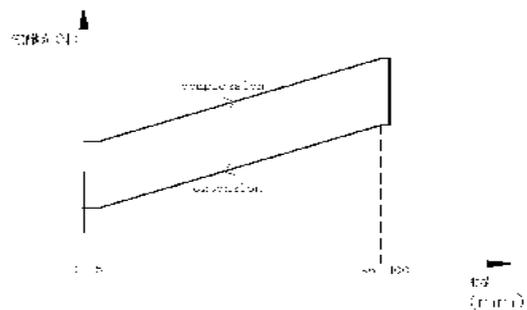


图 7 气弹簧输入曲线

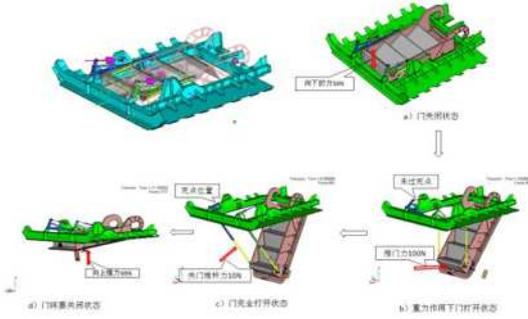


图8 维护舱门开门关门过程

根据维护舱门多体动力学计算结果，门在手柄力作用下解锁，解锁完成后，门在重力的作用下打开，气弹簧产生缓冲阻碍门打开的力，门缓慢打开，并最终保持半打开的状态，此时，气弹簧未过提升拉杆死点，通过对梯子施加外力使气弹簧过死点，门完全打开。关门过程中，人推动联动拉杆，使气弹簧过死点并产生助力，人扶梯产生向上的力，与气弹簧的伸展力共同作用使门关闭，门体开关过程如图8所示。

根据多体动力学仿真分析计算结果，手柄的最大开启力和关闭力为48N，主要克服插锁机构中预紧力弹簧产生的力，手柄力计算曲线如图9所示。

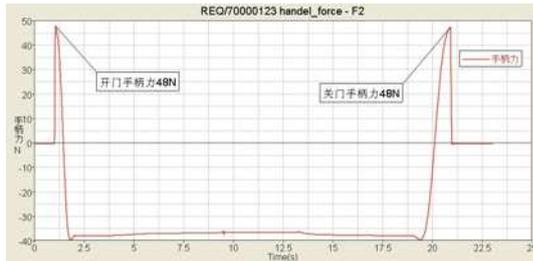


图9 维护舱门手柄力

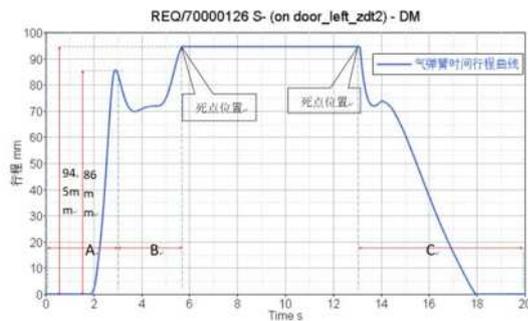


图10 维护舱门开门关门过程

如图10所示，维护舱门开门过程中，气弹簧的时间行程为A段时，门体在重力作用下自由下落至静止平衡状态，门体在半空保持悬停，此时气弹簧行程为86；B阶段为人工干预阶段，人用100的力推门至门完全打开，自锁拉杆锁定机构，气弹簧行程达到最大94.5mm，门完全打开状态下，气弹簧保持在死点位置；C阶段为关门过程，人一只手按下自锁拉杆解锁装置，另一只手用10N的力轻推联动拉杆，门体向上轻微弹起

保持平衡，人为给50N向上关门的力，门体关闭到位松手保持平衡，扳动手柄，锁住维护舱门，气弹簧行程恢复至安装位置。

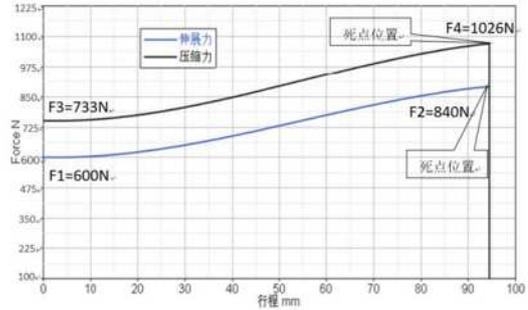


图11 维护舱门开门关门过程

气弹簧行程力值曲线如图11所示，开门过程中，气弹簧受压缩力，气弹簧行程为0时，最小压缩力为733N，门完全打开状态，气弹簧行程达到最大，压缩力1026N；关门过程，气弹簧主要受伸展力，关门初始时刻行程最大，伸展力为840N，门完全关闭气弹簧行程回到0，气弹簧最小伸展力为600N。

2.4 方案三多体动力学分析

根据多体动力学分析，计算出绳索的拉力曲线，如图12所示，A段为开门绳索拉力，从107N降到30N；B段为人踩踏梯子，单边绳索拉力，最大值为438N；C段为关门绳索拉力，从30N增加到110N。根据单边绳索拉力曲线可知，卷收器的设计拉力值需低于30N，才能保证门的正常打开到最大位置。

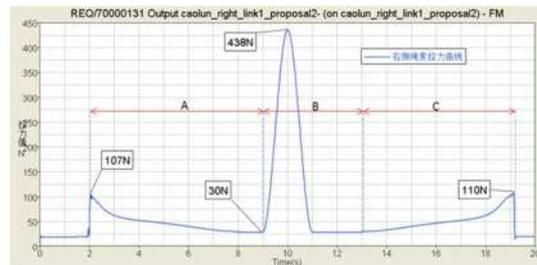


图12 单边绳索力值曲线

3 结论

根据以上三种方案多体动力学分析结果，方案一维护舱门气弹簧采用单边布置的结构形式，气弹簧的最小伸展力值为1160N，方案二维护舱门气弹簧采用对称布置的结构形式，气弹簧的最小伸展力值为600N，方案三采用卷收器的结构形式，单边绳索的拉力值为438N。

根据现有条件，研制气弹簧研制周期长，成本较高，因此本文采用选择现有气弹簧成品件。根据对气弹簧厂家调研可知，方案一中选取最小伸展力为1160N的气弹簧匹配该维护舱门机构比较困难；方案二中选取最小伸展力为600N的气弹簧较容易实现，并且有现有成品件；方案三采用卷收器的结构，

优点是重量轻,更换简单,缺点是目前没有成熟的可用于飞机的产品,本文所分析的参数可为卷收器的研制提供参考。

本章对维护舱门以上三种助力机构方案进行对比分析,对气弹簧和卷收器的可行性进行阐述,根据企业气弹簧和卷收器成品调研,方案二的可行性较强。

4 总结与展望

本文针对维护舱门运动机构进行多体动力学分析,对助力机构设计选型方案进行了概述,借助多体动力学分析软件建立了维护舱门多体动力学模型,完成了气弹簧工作特性曲线的确

定及维护舱门动力学分析,经动力学分析计算验证,得出开启舱门的手柄力和开门关门过程中所需要的人力,通过比较得出方案二的气弹簧比较适合,有效地完成了维护舱门助力机构的选型设计。

鉴于目前工作仅仅是理论分析,没有得到试验的验证,后续应考虑通过试验对维护舱门的强度、刚度和运动机构进行功能试验和强度试验,并与试验采集数据进行对标分析,从而验证本文工作的正确性。同时需要对卷收器进一步的研究,提高卷收器的耐久性、可靠性,从而能应用到飞机上。

参考文献:

- [1] 王宝忠主编.飞机设计手册第十册结构设计[M].国防工业出版社,2000年.
- [2] 张志斌,邵忍平,王冬焯.门梯合一式登机门原理探究.新技术新工艺[J].2008,20(10):12-19.
- [3] 赵匀.机构数值分析与综合[M].机械工业出版社,2005年.
- [4] 庞微,卢鹤,张涛.飞机舱门机构运动仿真分析技术研究[J].航空制造技术,2012,402(6):100-114.
- [5] 赵小龙.基于CATIA的客机舱门提升机构设计与仿真[J].飞机设计,2016,37(5):39-42.