

电动水平安定面作动系统故障安全仿真研究

付剑 马浩林* 郑超群 孙明伟

北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191

摘要 水平安定面是民机飞行控制的重要舵面,随着多电飞机技术的发展,水平安定面作动器也逐步由传统的液压驱动方式向电驱动方式转变。机电作动系统完全取消了液压回路,避免了泄漏的风险,具有更好的维护性,目前在辅助飞控舵面领域已经得到了广泛应用。机电作动系统的安全性和可靠性是制约其在民用飞机主飞控舵面和起落架系统应用的主要原因之一。本文以满足未来国产宽体客机发展需求为目标,开展电动水平安定面作动系统的架构分析和故障安全仿真研究,提高系统可靠性和容错能力,对于推动机电作动技术在主飞控舵面的应用具有重要意义。

关键词 飞控系统;水平安定面作动器;机电作动器;余度管理;故障安全

Study on Fault Safety Simulation of Electrical Trimmable Horizontal Stabilizer Actuation System

FU Jian, MA Haolin*, ZHENG Chaoqun, SUN Mingwei

School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University,
Beijing 100191, China

Abstract: The trimmable horizontal stabilizer is an important flight surface for civil aircraft flight control. With the development of more electric aircraft, the trimmable horizontal stabilizer actuator has gradually transformed from the traditional hydraulic drive to the electrical drive. The electro-mechanical actuation system has canceled hydraulic circuit to avoid the risk of leakage and obtain good maintainability, so it has been widely used in the field of auxiliary flight surface. The safety and reliability of electro-mechanical actuation system is one of the main reasons that restrict its application in the main flight control surface and landing gear system. In order to meet the development needs of domestic wide-body aircraft in the future, this research carries out the architecture analysis and fault safety simulation of the electrical trimmable horizontal stabilizer actuation system. It improves the

基金项目:航空科学基金(20200007051001)

* 通讯作者. E-mail: ma207185099@gmail.com

reliability and fault tolerance of the system, which is of great significance to promote the application of electro-mechanical technology in the main flight surface.

Keywords: flight control system; trimmable horizontal stabilizer actuator; electro-mechanical actuator; redundancy management; fault safety

在飞控领域,功率电传作动器正逐步取代传统的液压作动器,主要包括机电作动器(EMA, Electro-Mechanical Actuator)和电动静液作动器(EHA, Electro-Hydrostatic Actuator)^[1-3]。EMA使用电机通过滚珠丝杠直接驱动舵面,结构简单,可维护性更好,系统消除了液压源后减小了整机的重量,近年来已经成为航空工业领域的研究热点之一^[4]。

水平安定面是飞机尾翼的可动水平翼面,与升降舵配合工作,用来控制飞机的俯仰姿态,使飞机具有静稳定性。水平安定面不属于主飞控舵面,但是其重要性高于辅助飞控舵面。水平安定面作动器,用于支撑和驱动水平安定面偏转。传统水平安定面作动器一般由液压马达驱动,如空客 A320 飞机和波音 B737 飞机。随着多电技术的发展,在空客 A380 上开始采用两个液压马达作为主驱动和电动马达作为备份的混合驱动模式;而在空客 A350 和波音 B787 上则是由两路电动马达驱动^[5]。国产民用飞机 ARJ21 和 C919 也采用了电驱动水平安定面作动系统(ETHSA, Electrical Trimmable Horizontal Stabilizer Actuator),但都是直接采用国外成熟的产品,如 Moog、Parker、Collins 等供应商。因此,为了提高自主研发能力,需要进一步提升和突破 ETHSA 系统的架构分析和建模仿真等关键技术。

1 余度架构分析

1.1 系统组成

ETHSA 系统的基本组成包括控制单元、

电机驱动模块、电机、齿轮箱、滚珠丝杠副以及防逆转机构等辅助元件,原理结构如图 1 所示。

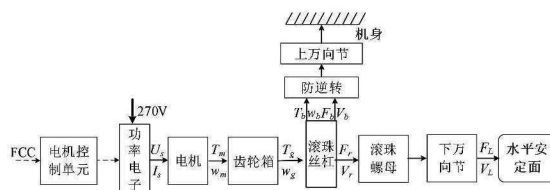


图 1 ETHSA 系统基本组成

1.2 余度配置方法

基于以上的组成分析,提出更符合我国民机发展的 ETHSA 系统架构。采用余度技术是提高系统任务可靠性和安全性的手段之一^[6]。余度配置方案主要涉及到电机的选择、齿轮传动系统设计、传力路径设计以及防逆转机构的选择和传感器的布置形式。

现有的设计中,控制单元的余度采用主动并行的工作方式,机械传动部件的余度采用主/备工作方式^[7-8]。通过对不同余度架构进行定性分析,以可靠性、重量、成本、安装空间、复杂性和维修性作为评价标准,设计得到图 2 所示的余度架构。

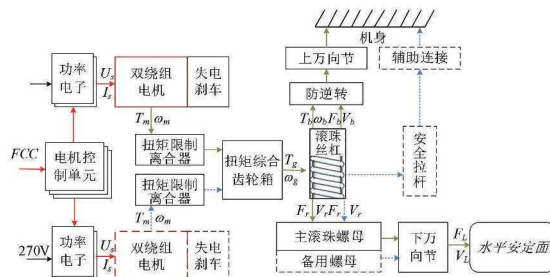


图 2 余度架构图