

水陆两栖飞机电传前轮转弯系统设计

Telex Wheel Steering Design of Amphibious Aircraft

中航通飞研究院有限公司 操 鸿 肖 遥



操 鸿

硕士研究生,现就职于中航通飞研究院有限公司,主要从事飞机液压、操纵系统的设计研发工作。

前轮转弯是飞机在地面实现操纵的主要方式,转弯系统的优劣直接关系到飞机在起飞和着陆过程中的安全性。前轮转弯系统主要是飞机在高速滑跑中实现小角度纠偏,在低速滑行中实现大角度转弯,它对飞机刹车系统的寿命、抗侧风能力以及在轮胎故障中纠正飞机航向等有重要意义^[1]。

水陆两栖飞机对前轮转弯系统的设计有特殊的要求,在满足防水、防腐蚀的前提下,电传前轮转弯系统才能在水陆两栖飞机上被顺利使用。其中,控制系统、转弯控制阀以及反馈传感器的设计是系统设计的重要环节。

前轮转弯系统的技术发展大致经历了以下几个阶段:机械-液压转弯系统、电气液压转弯系统、电传转弯系统和综合控制系统。机械-液压式前轮操纵系统被使用的越来越少。

电传式前轮转弯系统的特点

电传式前轮转弯系统能较好地改善操作性,特别是手轮操纵时的性能^[2]。系统的指令和反馈都是通过电信号传输,操纵力矩大小基本是手轮设计的操纵力矩决定的,传感器不会增加操纵力。

电传式前轮转弯系统可以有效减轻重量,符合飞机总体减重的要求。电传式前轮转弯系统只有脚踏传感器、手轮、控制器、转弯控制阀和作动器5个部件,功能集成度高,不仅减轻了系统的重量,也减少了管路

的重量。根据初步估算,除作动器外,系统重量将减小50%。

安装布局非常方便。系统的部件之间通过液压导管和电缆连接,没有任何的机械连接关系,这样使系统部件的布局很方便,不受相互的空间位置影响。系统不用进行位置的调整,可以大大减少装机或换件时的工作量。

电传式前轮转弯系统的最大特点就是引进了控制律,将系统的控制变得更加合理,如减摆和转弯的转换、大小角度的转换、增益的变化等都可以根据飞机的安全和操作来设置。同时也可以给系统的参数调整带来了方便^[3]。

水陆两栖飞机对前轮转弯系统的要求

水陆两栖飞机由于要同时满足

在陆地和水上起降,因此对起落架系统有更高的要求。陆基飞机的前轮转弯系统对使用环境和性能要求相对简单;在水面起降首先要满足防水要求,其次在海面起降还需具备防腐的特性。水陆两栖飞机的机身下部一般为船形结构,为了达到更高的抗浪强度和水密性,设计一般都很紧凑,这就给系统维护带来困难,尤其是前起落架系统。电传式转弯系统具有结构简单、布局灵活的特点,是水陆两栖飞机的首选,但电传式转弯系统具有精密的传感器装置,传感器和作动筒必须具有防水和防腐的特点,因此反馈传感器和转弯作动筒的设计安装是电传式前轮转弯在水陆两栖飞机上顺利应用的关键。

电传式前轮转弯系统的设计

前轮转弯系统的功能主要有以下两点:

(1) 转弯。在飞机滑行阶段保持航向和机动。包括大角度转弯和小角度纠偏,以及在侧风或一侧主轮爆破的情况下的安全着陆。

(2) 减摆。在飞机前轮受到外力而产生摆振时,系统能提供足够的液压阻尼,消耗摆振能量,保证飞机滑行的稳定性。

电传式前轮转弯的功能框图见图 1。飞机地面转弯时,按压并转动前轮转弯手轮或者等蹬方向舵脚踏发出转弯指令,转弯指令在前轮转弯控制盒内与其他指令进行逻辑运算,根据运算结果来控制前轮转弯组合阀中电磁阀的通断及伺服阀的电流,使压力油进入作动筒,推动前轮进行转弯^[4-5]。前轮转弯系统具有失效安全模式,能够在系统出现故障时,自主或者人工的切断转弯功能,进入减摆模式。

1 系统的控制方式

电传式前轮转弯系统较多采用伺服控制,伺服控制前轮转弯系统在控制方法上一般有两种形式:双

CPU 作为控制余度的方式和一个控制 CPU 加一个监控 CPU 的方式。

余度控制方式是一个基于硬件模块级冗余的双机容错系统,采用相似性设计。双机相对独立,采用热备份结构。整个计算机系统采用双余度构形,每块 CPU 板采用独立的电源;传感器采用双余度形式。在系统工作方式下,双通道分别对传感器进行采样,相互独立地完成控制率计算,在任何时刻,仅有一个通道输出控制率计算结果,即构成转弯控制器主、副(A、B)控制通道采用完全相同的结构和功能。主、副控制通道都可以独立地完成系统功能,每个通道的控制器核心部分都由 CPU 系统模块,输入/输出信号处理模块,422 通信模块,CCDL 模块,信号输出处理模块等组成。系统采用了 DSP 控制,软硬件余度控制技术,自监控/自检测技术,集成度和可靠性较高,它们共同构成控制系统的局部范围内的一次故障/工作,二次故障/安全的工作模式。

控制/监控方式的原理见图 2。

一个是控制通道,主要用于进行转弯指令的输入采集,进行控制率的计算与闭环控制输出,同时监控转弯系统的 LRU 部件的状况;而另一个通道是监控通道,主要用于监控控制通道的状态,监控传感器、电磁阀、伺服阀等部件的状态,一旦探测到关键部件的故障,转弯状态即解除,并转换为减摆状态,从而达到阻止更进一步的危害动作。系统采用了 DSP 控制,软硬件控制技术,自监控/自检测技术,集成度和可靠性较高,它们共同构成控制系统的故障/安全控制的基础。

以上两种控制方式各有不同,余度控制方式两块 CPU 都能独立完成转弯任务,正常情况下任务完成的可靠度高,但由于其多处需要双机之间逻辑控制切换及数据的交叉传输与比较,逻辑复杂。在可靠性方面,控制/监控方式可靠性指标略高,这是因为余度控制方式的原器件多于控制/监控方式,且控制/监控方式软件复杂程度低,余度控制方式主要从提高任务的可靠性方面来设计的,它

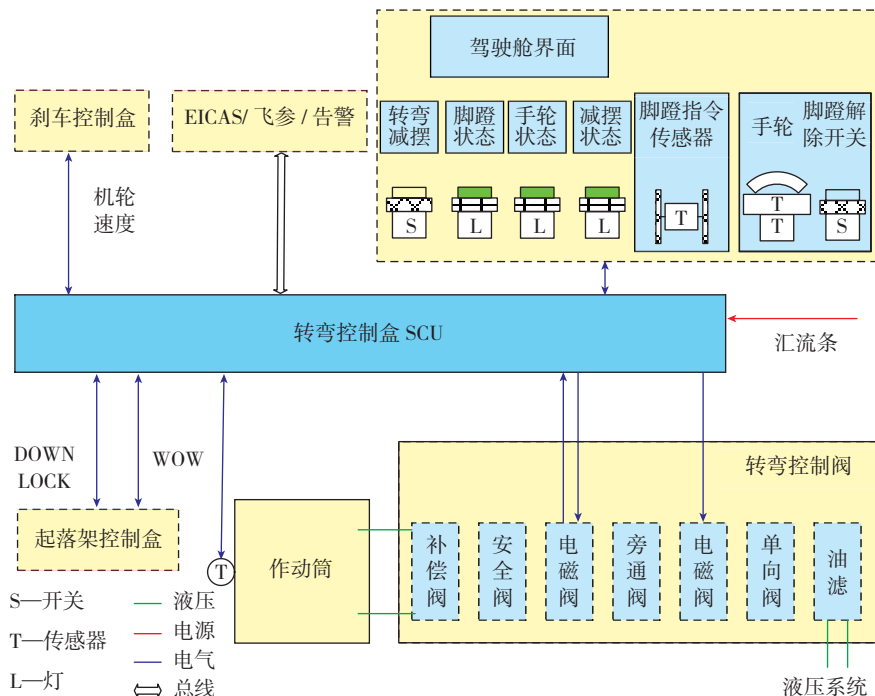


图1 前轮转弯系统功能框图

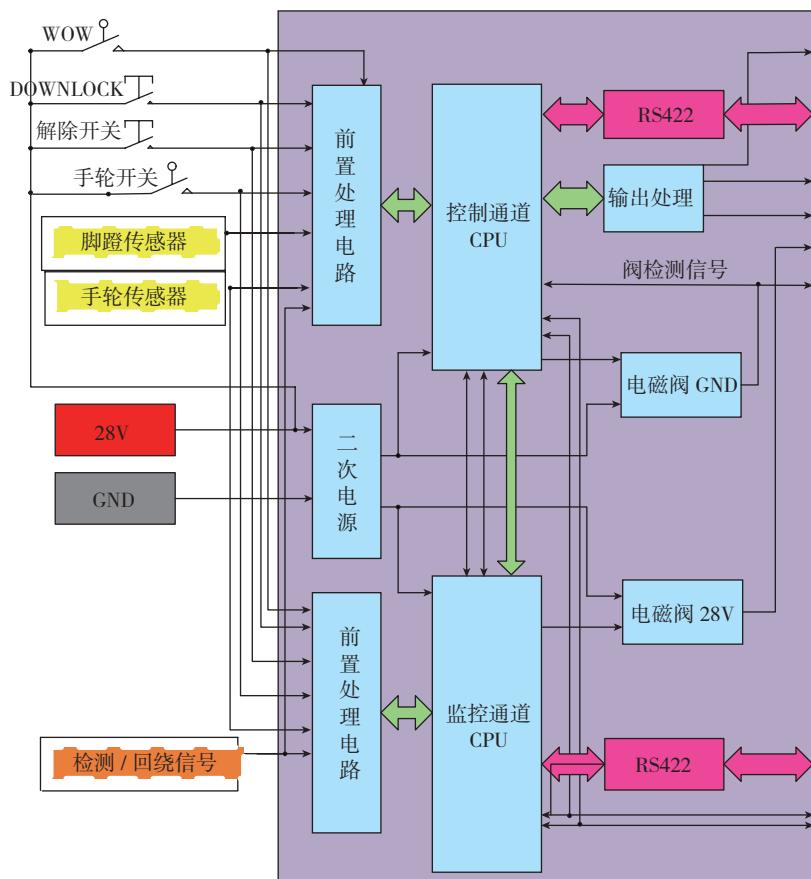


图2 控制/监控方式原理框图

强调完成任务的可靠性,而控制/监控方式则更强调系统的安全性。因此从系统的发展趋势和优缺点来看,优先选择控制/监控方式。

2 转弯控制阀的选择

从伺服控制系统来说,系统的液压控制部件主要有喷嘴挡板伺服阀、射流管伺服阀和旋转式直接驱动伺服阀。

喷嘴挡板伺服阀的喷嘴挡板间隙很小,因而抗污染能力最差。射流管伺服阀是靠射流管喷射工作液,将压力能变成动能,控制两个接受器获得能量的比例来进行控制。由于其射流器和接收器之间的间距比喷嘴挡板型的间距大,因此相对于喷嘴挡板型伺服阀抗污染能力较强,但射流管型伺服阀的性能不易理论计算和预计,力矩马达的结构及工艺复杂,加工难度大。

旋转直接驱动伺服阀的滑阀级

驱动部分与喷嘴挡板型、射流管型伺服阀完全一致,制造加工工艺成熟。驱动部分采用有限转角力矩电机驱动,取消了故障率较高的先导级部分,从而使旋转直接驱动伺服阀具有抗污染能力强、较小的内泄漏、性能不受供油压力影响等优点,所以旋转直接驱动伺服阀为最优选择。

3 反馈传感器的设计

反馈传感器分为直线位移传感器和角位移传感器。为了实现反馈前轮偏转的角度,反馈装置的设计大致有以下几类。

(1) 将前轮转动的角度直接利用机械传动装置转换到角位移传感器的输入轴上,实现反馈功能。

(2) 利用钢索、滑轮装置,将前轮转动的角度转换成

直线位移,再通过连接在钢索终端的直线位移传感器实现检测。

(3) 直接将传感器集成在转弯作动筒内,通过作动筒的位移量检测前轮的偏转角度。

电传转弯的组成部件中,指令传感器一般都布置在驾驶舱,控制阀和控制盒一般也都布置在机身内部,这些在水陆两栖飞机上的安装与陆基飞机上的安装没有很大区别^[6]。而反馈传感器是布置在前起落架立柱上,由于水陆两栖飞机的前起落架会浸泡在水中,反馈传感器的安装点处在水面以下,因此反馈装置的设计要满足防水、防腐蚀的要求,如图3所示。

拨杆-拨叉式反馈装置主要是依靠拨杆拨动拨叉实现角度传递,拨杆固定在转弯扭力臂驱动环上,拨叉固定在角位移传感器输入轴上,当转弯作动筒驱动扭力臂转动时,拨杆带动拨叉转动,角位移传感器检测转动角度,反馈给控制盒,如图4所示。这种反馈装置的优点是结构简单,安装调试容易,在陆基飞机上使用很方便。由于拨杆需要固定在前起转动支柱的外部,很难将反馈装置整体封

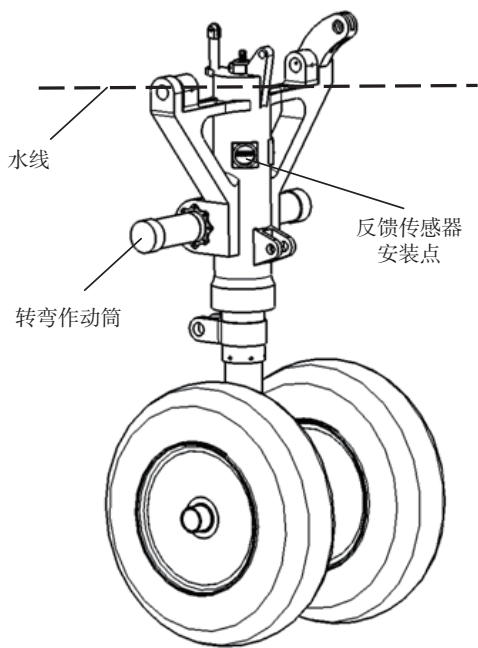


图3 水陆两栖飞机电传前轮转弯布置图

装,防水不易实现。

钢索反馈装置是利用套在转弯驱动环上的钢索,当作动筒驱动扭力臂驱动环转动时,钢索随之转动,通过固定在起落架上的滑轮将钢索的转动转换成上下直线运动,钢索的直线段和直线位移传感器的输入轴固接在一起,从而通过直线位移检测前轮的偏转角度。这种反馈装置具有在起落架上布局灵活、安装调试简便的特点。

钢索反馈式和拨杆-拨叉式的反馈装置一样,都依赖于外置的转弯驱动环,这种驱动模式一般均使用推挽式转弯作动筒,作动筒和反馈传感器都难以封装,不易达到防水的要求。

齿轮式反馈装置原理图如图 5

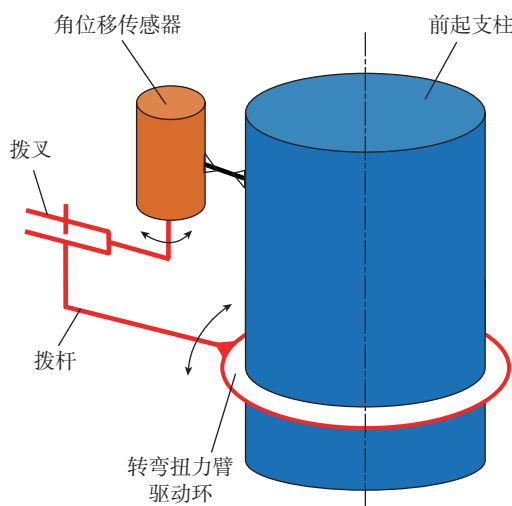


图4 拨杆-拨叉传动示意图

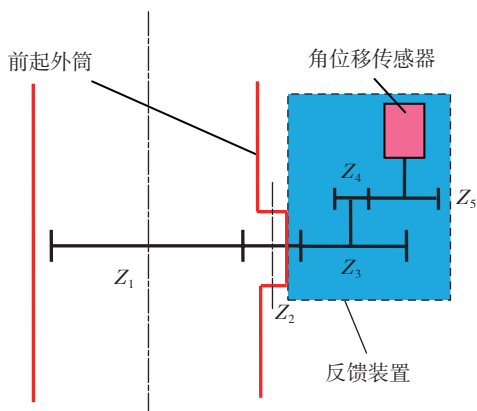


图5 齿轮反馈装置传动示意图

所示,前起转动支柱上装有齿轮,当前轮转动时,通过齿轮轴系的传动,角位移传感器的输入轴即可检测到前轮转动的角度。为了安装反馈装置,支柱上需要开一窗口才能将转动角度传递到支柱外以供检测,图 5 中 Z_1 为前起支柱内大齿轮, Z_3 为反馈装置的输入端齿轮,为了减轻开口对前起支柱强度的削弱,在 Z_1 和 Z_3 之间装有一个过渡小齿轮 Z_2 ,这样可大大减小开口的大小;同时为了减小反馈装置的大小,使用了 Z_3 和 Z_4 齿轮进行变比,

假设前轮转动的角度为 $\pm 60^\circ$,通过齿轮轴系合适的变比,角位移传感器输入轴的角度范围可以小于 $\pm 40^\circ$,这种设计可以让角位移传感器的选择空间更大。

齿轮式反馈装置的特点是结构紧凑,易于整体封装,安装面处可以采用密封圈和外部涂密封胶的方式实现密封,能达到很好的防水、防腐蚀的效果。

水陆两栖飞机的转弯作动筒为了满足防水的要求,多采用齿轮-齿条式的驱动方式,作动筒和齿条可以做成一个整体,直接在前起外筒的内部与支柱上的齿轮相啮合,能较好地实现防水。齿轮式反馈传感器的结构如图 6 所示。

综合比较以上几种角度反馈的实现形式,齿轮式反馈装置最能满足水陆两栖飞机的要求,是电传式转弯在水陆两栖飞机上得到应用的最好选择。

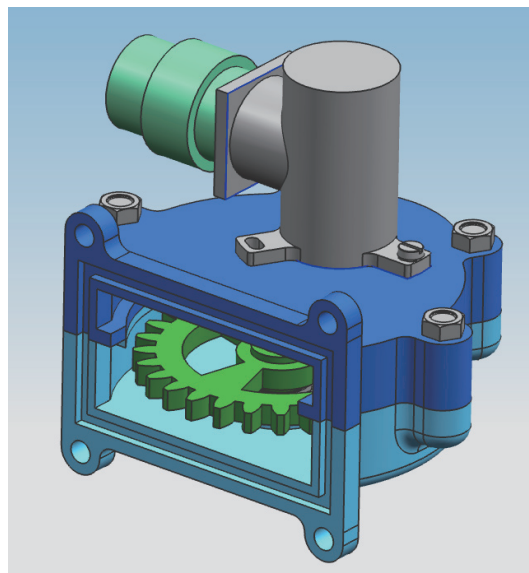


图6 反馈传感器结构图

结束语

水陆两栖飞机对前轮转弯系统的设计有特殊的要求,在满足防水、防腐蚀的前提下,电传前轮转弯系统才能在水陆两栖飞机上被顺利使用。其中,控制系统、转弯控制阀以及反馈传感器的设计是系统设计的重要环节。通过分析研究,提出了齿轮式反馈装置的设计方案,齿轮反馈装置易于封装,能较好地满足使用要求,它与齿轮-齿条转弯作动筒的搭配使用,使得电传前轮转弯在水陆两栖飞机上更好地得到应用。

参考文献

- [1] HB7230-95,飞机前轮转弯系统通用规范[S],1996.
- [2] 周欣宇,王少萍,焦宗夏.飞机前轮转弯控制系统重构仿真研究.液压与气动,2005(6): 32-34.
- [3] 冯军.大型民机起落架的发展趋势与关键技术.航空制造技术,2009(2): 52-56.
- [4] 李艳军.飞机液压传动与控制.北京:科学出版社,2009.
- [5] 孙健全.大型民机起落架控制系统技术发展.航空制造技术,2009(8):51-53.
- [6] 聂青,聂宏,张明.大型民机双作动筒式前轮转弯操纵系统设计与仿真分析.南京航空航天大学学报,2012(4): 503-510.

(责编 深蓝)