

# 电动舵机快速设计技术研究

## Research on Digital Design of Electromechanical Actuator

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 闵 荣 王永军 王俊彪  
中航工业兰州飞行控制有限责任公司 黄志毅 张小虎

[摘要] 针对电动舵机常用的几类典型结构,分析了电动舵机组成及设计流程,并对电动舵机各类零件形状特征信息进行分类,得到了尺寸关系模型。采用 VB 对 CATIA 软件进行二次开发,建立电动舵机各个典型零件的建模函数,并利用 ACCESS 建立了电动舵机零件数据库,实现了舵机产品零件的数字化快速设计。

关键词: 电动舵机 快速设计 CATIA Visual Basic

[ABSTRACT] According to some common typical structures of electromechanical actuator, the composition and design flowchart of electromechanical actuator are analyzed, and the shape feature information of electromechanical actuator parts is classified. The secondary development of CATIA is carried out, modeling functions of typical parts of electromechanical actuator is established, and part data base of electromechanical actuator is built by using ACCESS, which realizes the digital and rapid design of electromechanical actuator parts.

Keywords: Electromechanical actuator Rapid design CATIA Visual Basic

电动舵机体积小、重量轻、控制性和可靠性高,在飞行控制系统中得到了广泛的应用。电动舵机的设计由减速器设计和箱体设计两部分组成。减速器快速设计是电动舵机快速设计的核心,在减速器的设计研究中,针对不同用途,一般采用所有齿轮的质量之和最小或齿轮箱体积最小来设计齿轮和分配传动比<sup>[1]</sup>。王峰等<sup>[2]</sup>针对齿轮减速器,通过设立全局变量和局部变量,并采用全息信息模型实现了减速器产品的参数化设计。Ramamurti 等<sup>[3]</sup>针对两级齿轮减速器采用经验数据库结合计算的方式实现了两级齿轮减速器的参数化设计。本课题针对直接驱动型电动舵机的典型零件,采用程序化参数建模,实现了直接驱动型电动舵机的快速设计。

### 1 电动舵机的组成

(1) 电动舵机的组成。

电动舵机由电动机、减速机构、反馈信号装置、输出机构和安全保护装置 5 部分组成<sup>[4]</sup>。电动机为舵机提供原动力;减速机构由减速齿轮组构成,通过对电动机进行减速来得到合理的速度驱动舵面;输出机构由鼓轮构成,对舵面施加转角位移;安全保护装置由金属摩擦离合器构成,若负载力矩超过某个限制值时,金属片离合器将打滑,保护舵机的安全工作。

(2) 电动舵机的设计流程。

电动舵机的设计由电机选型、减速机构设计、摩擦离合器设计、牙嵌离合器设计和箱体设计 5 部分组成,其设计流程见图 1。首先进行电机选型,然后再结合电机性能参数(扭矩、功率等)以及设计要求的输出扭矩来对减速机构进行设计。减速机构的设计包括齿轮设计、齿轮轴设计以及相应的轴承设计和连接键设计,然后再进行摩擦离合器和牙嵌离合器设计。摩擦离合器设计中主要有齿轮轴设计、弹簧设计、压盘设计、摩擦片设计和调节螺母设计。牙嵌离合器设计包括电磁铁设计、离合器轴设计、压套设计、退档键设计。由于牙嵌离合器在吸合时两齿轮通过牙嵌端面传递扭矩,所以对端面齿轮的端面进行设计。完成摩擦离合器和牙嵌离合

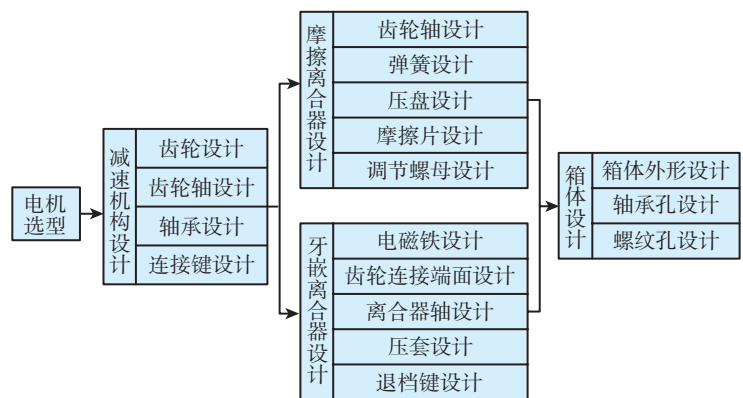


图1 电动舵机设计流程

Fig.1 Design flow chart of electromechanical actuator

器的设计后,再进行减速器的箱体设计,箱体设计中主要包括箱体外形设计、轴承孔设计和螺纹连接孔设计。

## 2 电动舵机各类零件基本形状特征参数

电动舵机的零件的特征复杂,且尺寸关联关系复杂,很多尺寸之间存在计算和装配关系,在对电动舵机进行快速设计时,先对电动舵机各个零件进行分类描述。电动舵机的形状特征可以分为基本形状特征和辅助形状参数,基本形状特征反映了零件的主要形状、体积,其中辅助形状特

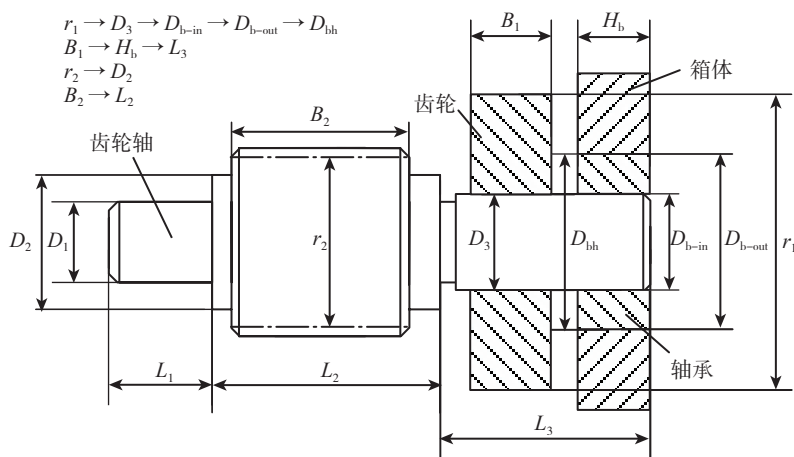


图2 电动舵机基本传动单元基本形状特征参数  
Fig.2 Basic shape parameters of basic transmission unit of electromechanical actuator

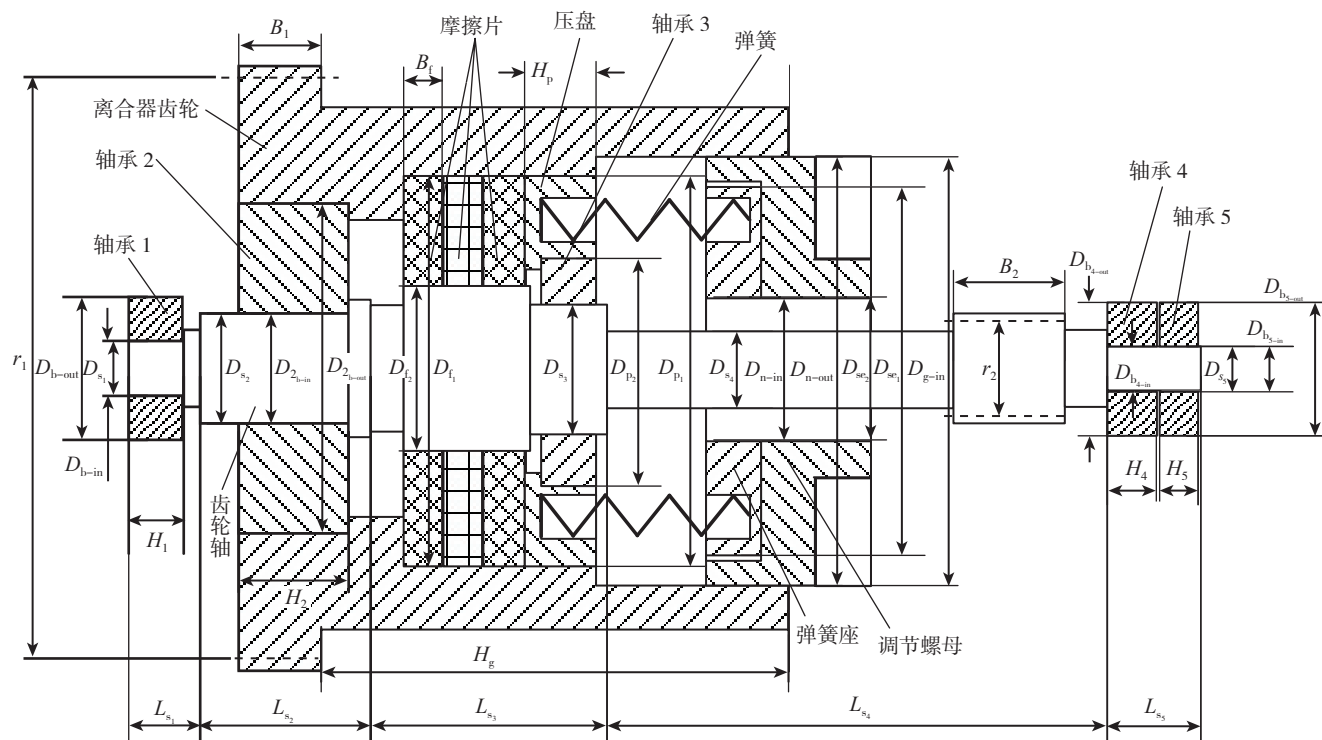


图3 摩擦离合器基本形状特征参数  
Fig.3 Basic shape parameters of friction clutch

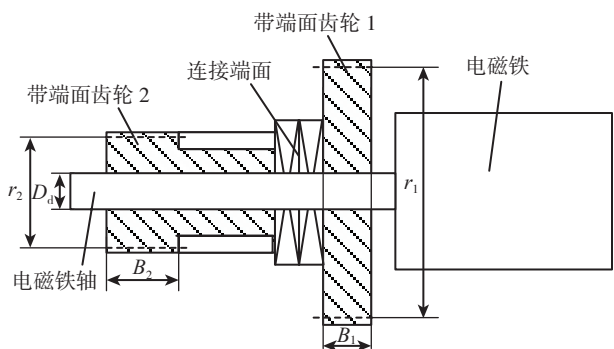


图4 牙嵌离合器基本形状特征参数  
Fig.4 Basic shape parameters of coupling clutch

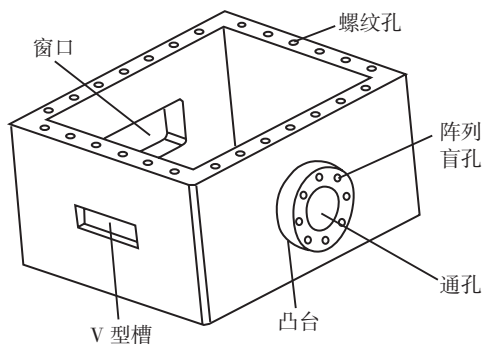


图5 箱体类零件  
Fig.5 Box parts of electromechanical actuator

征是对基本特征的局部修饰,反映了零件几何形状的细微结构,其依附于基本特征<sup>[5]</sup>。

本课题引入基本形状特征参数,建模程序生成电动舵机各个零件的基本形状特征,零件的辅助特征由设计人员参照辅助特征库来进行设计。电动舵机由轴承类零件、齿轮类零件、轴类零件、齿轮轴类零件、摩擦离合器、牙嵌离合器和箱体类零件组成。

电动舵机中齿轮轴、齿轮以及轴承为一个基本传动单元,如图2所示。齿轮的基本形状特征参数有齿数、模数、压力角和齿厚组成;齿轮轴为轴和齿轮几何特征合并组成,轴的基本形状特征参数有各段轴的轴长 $L_i$ 和各段轴的轴径 $D_i$ 组成。轴承的基本形状特征参数由轴承外径 $D_{b-out}$ 和轴承内径 $D_{b-in}$ 组成。齿轮的分度圆半径 $r_1$ 、 $r_2$ 以及齿厚 $B_1$ 、 $B_2$ 由传动计算给出,为整个传动单元的驱动参数变量。通过齿轮的分度圆半径经过强度计算可以得到第三段轴径 $D_3$ 、 $D_3$ 和轴承的内径 $D_{b-in}$ 匹配。通过轴承的内径 $D_{b-in}$ 强度和经验供述计算可以得出轴承外径 $D_{b-out}$ ,轴承外径 $D_{b-out}$ 和箱体轴承安装孔相匹配,可得到箱体的轴承安装孔径 $D_{bh}$ 。齿轮1的齿厚结合齿轮间距和箱体齿轮间距即可得到第三段的轴长 $L_3$ 。同样第一段和第二段轴长和轴径可以由齿轮轴上的齿轮通过上述方法计算得到。

电动舵机中的摩擦离合器为电动舵机的保护装置,由离合器齿轮、齿轮轴、摩擦片组、压盘、弹簧、弹簧座、调节螺母以及各个轴承组成,如图3所示。离合器齿轮的基本形状特征参数有齿轮基本参数(模数、齿数、压力角和齿厚)和摩擦片、弹簧安装部分形状参数 $H_g$ 和安装孔直径 $D_{g-in}$ 组成。齿轮轴的基本形状特征有各段轴径 $D_s$ 和轴长 $L_s$ ,以及齿轮基本参数特征;摩擦片的基本形状特征有摩擦片厚度 $B_f$ 、摩擦片外径 $D_{f1}$ 和摩擦片内径 $D_{f2}$ ;压盘的基本形状特征参数有压盘内径 $D_p$ 、压盘外径 $D_{p1}$ 和压盘厚度 $H_p$ ;辅助特征参数为弹簧安装孔尺寸;弹簧的基本形状特征参数有弹簧中径 $D$ 、弹簧丝直径 $d$ 、螺旋角 $\alpha$ 和有效长度 $L$ 组成;弹簧座的基本形状特征参数有弹簧座内径 $D_{se}$ 、弹簧座外

径 $D_{se}$ 和弹簧座厚度 $H_{se}$ 组成;调节螺母的基本形状特征参数有内径 $D_{n-in}$ 、外径 $D_{n-out}$ 和厚度 $H_n$ 组成。摩擦离合器的离合器齿轮分度圆半径 $r_1$ 、齿厚 $B_1$ 和齿轮轴齿

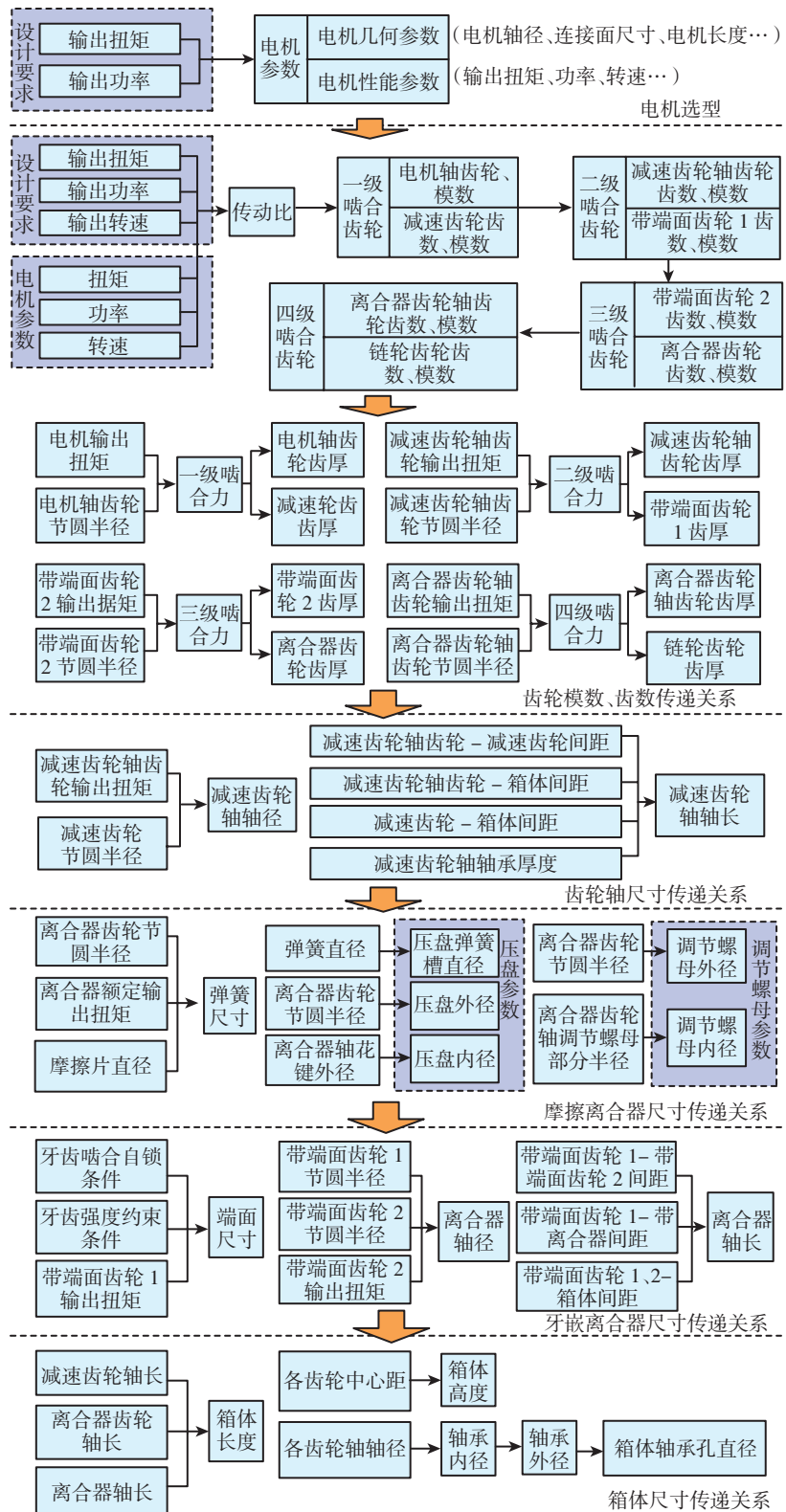


图6 电动舵机零件详细设计流程  
Fig.6 Detailed design flow chart of electromechanical actuator

轮分度圆半径  $r_2$ 、齿厚  $B_2$  由传动计算给出,为摩擦离合器的驱动参数变量;根据摩擦离合器齿轮分度圆半径  $r_1$  和传递扭矩计算选择摩擦片外径  $D_{f_1}$ 、内径  $D_{f_2}$  和摩擦片厚度  $B_f$ ;由于摩擦片和齿轮轴采用花键连接,通过计算可以得到齿轮轴的第三段轴径  $D_{s_3}$ ,同时根据摩擦片厚度  $B_f$  计算得出的轴长  $L_{s_3}$ 。进行完摩擦片基本形状参数计算后,根据摩擦片的压力和扭矩大小选择压力弹簧,压力弹簧的尺寸和压盘以及弹簧座的尺寸相匹配,可以得到弹簧座和压盘的基本形状特征参数。齿轮轴上的齿轮分度圆半径通过计算可以得到齿轮轴三、四段的轴径和轴长;最后再结合受力计算各段轴承的基本形状特征参数。

牙嵌式离合器由 2 个端面齿轮和电磁铁组成,如图 4 所示。2 个端面齿轮的基本形状特征参数有齿轮基本几何参数(模数、齿数、压力角和齿厚)<sup>[6]</sup>,电磁铁有电磁铁轴径和电磁铁箱体尺寸。同样,端面齿轮 1 和 2 的分度圆半径  $r_1$ 、 $r_2$  以及齿厚  $B_1$ 、 $B_2$  由传动计算给出。由于电磁铁为选型部件,所以结合 2 个端面齿轮的分度圆半径和所传递的扭矩选择相应的电磁铁;端面连接部分为端面齿轮的辅助形状特征,最后由用户结合辅助形状特征库来进行设计。

根据舵机典型壳体零件的特点,可将其特征描述分为总体、实体、平面、孔系、轮廓 5 大类。每大类再根据其特点进行细化。在实体特征可以分为长方体、圆柱体、圆台等。平面特征可分为矩形平面、圆形平面、台阶平面和边框平面等。型孔特征分为带倒角孔、螺纹孔、沉头孔、锥孔以及同轴孔、均布孔、阵列孔、复合沉头孔等。轮廓特征轮廓按其组成为由腔、槽、边、倒角等相对规则的几何形体和不规则复杂几何形体,如图 5 所示。

### 3 电动舵机详细设计流程

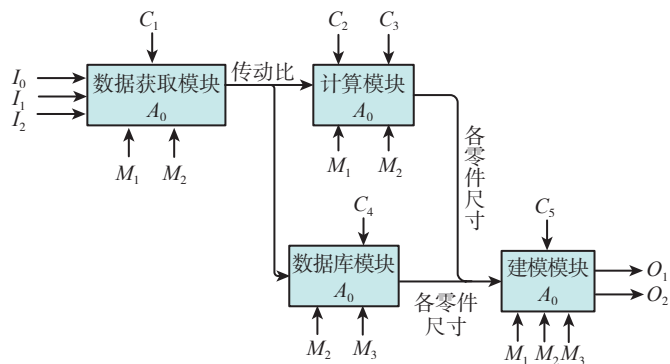
电动舵机的设计分为电机选型、传动设计、摩擦离合器设计、牙嵌离合器设计最后再到箱体设计,如图 6 所示。在完成电机的选型设计后,电机的性能参数向下传递;传递给传动设计部分,传动设计部分结合设计要求(电动舵机输出扭矩、功率)结合减速器设计理论确定传动比以及各级啮合齿轮的齿数和模数,在完成传动设计后,各级啮合齿轮的齿数和模数向下传递;传递给齿轮轴设计部分,齿轮轴设计部分通过齿轮分度圆半径以及传递扭矩和材料设计齿轮轴轴径,同时根据经验公式确定各个齿轮间距以及齿轮和箱体的间距来完成齿轮轴轴长的设计;然后再根据摩擦离合器齿轮和牙嵌离合器齿轮的几何参数和离合器设计准则以及所传递扭矩分别设计摩擦离合器和牙嵌离合器;最后在完成上述设计后,进行箱体的设计。

### 4 电动舵机快速设计系统

电动舵机快速设计系统采用 CATIA、VB 和 ACCESS 结合的方式来建立电动舵机的快速设计系统。在 CATIA 的二次开发中, CATIA 提供支持建模的 API 函数来对模型进行操作,任何能访问 COM 对象的程序或脚本都能访问 CATIA 的对象并对其进行操作<sup>[7]</sup>。本系统采用 Visual Basic 作为编程语言通过 COM 接口来访问 CATIA 的内部对象,采用 ACCESS 作为数据库平台为 CAD 系统提供支持。

电动舵机快速设计系统由数据获取模块、计算模块、数据库模块和建模模块组成,如图 7 所示。数据获取模块接收电动舵机的输出扭矩、功率和转速等设计参数,通过计算得到电动舵机的传动比,然后再根据传动比查询数据库的类似零件。若存在类似零件则直接将舵机各个零件的基本形状特征参数信息输入建模模块进行建模;若没有找到相似零件,则将传动比输入至计算模块,由计算模块通过传动计算公式以及经验公式计算出各个零件的基本形状特征参数。最后输入至建模模块,生成电动舵机的 CAD 模型,从而完成电动舵机的快速设计。建模模块由各个零件的生成函数组成,零件生成函数使用程序语言来完成各个零件的特征操作。

由于电动舵机零件多且尺寸复杂,所以在进行建模程序开发时,只针对零件的基本形状特征进行开发,建模程序完成零件的基本形状特征建模,各个零件的辅助形状特征由设计人员参照辅助形状特征库来进行建模。舵机零件的基本形状特征建模过程参照舵机设计流程,首先进行电机选型,通过电机选型数据库得到电机基本形状特征参数,输入电机建模程序完成电机基本形状特



输入： $I_0$ —扭矩； $I_1$ —功率； $I_2$ —转速；机制： $M_1$ —VB； $M_2$ —Windows； $M_3$ —ACCESS； $M_4$ —CATIA；输出： $O_1$ —零件三维模型； $O_2$ —零件二维图；控制： $C_1$ —设计要求； $C_2$ —经验公式； $C_3$ —传动计算公式； $C_4$ —传动比； $C_5$ —零件几何参数

图7 电动舵机快速设计系统功能模型

Fig.7 Function model for rapid design system of electromechanical actuator

(下转第 83 页)