

多级电动缸机构设计计算研究

王植杨

(沈阳新松机器人自动化股份有限公司 辽宁 沈阳 110000)

摘要：多级电动缸是在单机伺服电动缸的基础上衍生而来的特种电动缸，能够实现高精度多级同步直线运动，具有安装空间小、行程大等优势，应用领域广泛。内部结构相对单机电动缸更加复杂，因此工作机构的设计是否合理，直接影响其动力性能、运动性能、紧凑性和稳定性。基于此，本文以两级电动缸为例对其工作机构的设计计算进行了分析和探讨，所得文献与同行业人员共同分享，望对行业的发展起到一定的促进作用。

关键词：多级电动缸；工作机构；设计研究

0 引言

电动缸具有控制好、结构简单、方便维护等优点，近年来在军事装备、自动化生产线、仿真平台等领域有着广泛的应用。根据其使用功能，电动缸可以分为起竖电动缸、调平电动缸、锁紧电动缸、升降电动缸和推拉电动缸等。分析电动缸的主要形状和结构特点，电动缸的行程与其外形尺寸相关。在一些空间尺寸狭小，又需要较大行程的特殊条件下，普通的单级电动缸已不能满足安装要求，而多级油缸在精度、响应速度上又不能达到其使用要求，在这种条件下便提出了多级电动缸的设计需求。在本文中，以两级电动缸为例介绍其结构设计，结合安装空间和行程等设计输入获得外形尺寸，利用 Solidworks 三维软件创建三维原型，并添加负载、速度参数进行有限元分析，以优化电动缸的结构。

1 设计依据及准则

电动缸作为动力执行部件，与其他机械或结构组合才能发挥功能。在不同工况条件下，电动缸的用途和性能要求也各有不同。在设计时通常使用的设计输入包括以下几个方面：额定动载荷、额定静载荷、侧向力、运行速度、安装尺寸、最大行程、精度等级、安装方式和工作环境条件。根据这些设计输入展开电动缸的方案设计。

2 电动缸机构分析及计算选型

2.1 电动缸结构设计

根据上面提到的设计输入项目，结合厂家给出的实

际使用工况，初步设计出电动缸结构方案。电动缸采用折返式结构，两端铰接的安装方式，根据其安装尺寸及最大行程确定电动缸为两级电动缸，主要由伺服电机、减速机、齿轮箱、齿轮副、一级丝杠副、二级丝杠副、内筒、中间筒和外筒组成，其结构如图 1 所示。

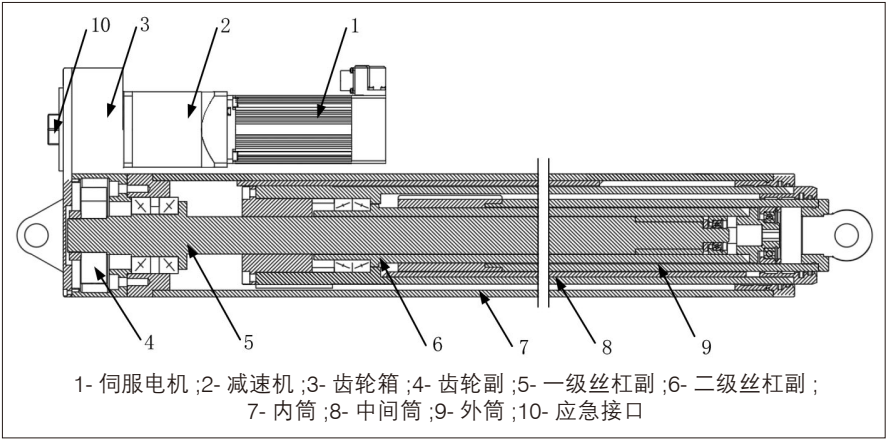


图 1 两级电动缸结构

2.2 电动缸传动机构分析

两级电动缸在正常作业时，通过操作盒输入伸出 / 缩回长度，确认后由伺服电机输出转矩，经减速机减速，通过齿轮传动到丝杠，最后通过丝杠转化为直线运动带动中间筒、内筒伸缩。在即将到达指定长度时，电机驱动器减速，使电动缸精确到达指定长度。为实现中间筒、内筒同步伸缩，丝杠传动设计为空心丝杠与滑动花键副结合的双级丝杠传动。一级丝杠副、二级丝杠副采取嵌套安装方式，将一级丝杠副穿在二级丝杠副内部，一级丝杠转动，一级丝母做直线运动，同时一级丝杠通过花键带动二级丝杠转动，二级丝杠相对一级丝母相对转动，但无轴线运动。中间筒与一级丝母相连，内筒与二级丝母相连，中间筒对内筒起导向与径向支撑作用，内筒推动负载伸缩运动。

电动缸设计有应急接口,如果系统处于断电状态且短时间内无法恢复供电,或驱动器出现故障短时间内无法排故处理时,电动缸无法运动。此时,通过外接电源给抱闸供电解开抱闸,通过应急接口手动操作电动缸伸出或收回到安全位置。

2.3 电动缸的密封设计

部分电动缸工作在自然环境中,如果电动缸密封防护不到位,外部物质进入电动缸内部,或内部润滑脂发生渗漏,均会引起电动缸工作性能下降,严重影响其可靠性,甚至影响使用寿命。因此,设计过程中,针对电动缸使用环境要求,需重点考虑密封防护设计,提高其可靠性,延长使用寿命。电动缸采用成熟的密封技术及产品,密封接口按标准要求设计,推杆密封件由外向内依次设计有防尘圈和密封圈(图2),具有密封性好、摩擦力小、耐磨损且安装沟槽加工简单的优点,可防止沙尘、水滴进入缸体内部,达到零泄漏的密封效果。外筒与齿轮箱、齿轮箱与减速机、减速机与电机之间装配时,各零件连接端面设计“O”型圈或密封垫密封。对无法加装密封垫的部位,装配时涂抹密封胶。对电机、减速机、电磁制动器等外购件,要对生产厂家提出明确的防护等级以达到使用要求。

2.4 电动缸的润滑设计

电动缸内筒与中间筒、中间筒与外筒接触面的前端,安装有两道聚四氟导向环、后端安装有石墨自润滑无油轴承,起到耐磨及自润滑作用。同时,缸筒及齿轮箱上设计有油嘴,间隔一段时间需要加注润滑脂进行维护,以提高电动缸使用寿命,润滑脂要根据电动缸使用环境要求选用合适的润滑脂。

2.5 电动缸的安全设计

电动缸设计时要采取多重极限行程保护措施。对于

安装有绝对值编码器的电动缸,通过绝对值编码器记录电动缸伸出/缩回的极限位置行程,在驱动器内设置位置规划保护,接近极限位置时提前报警。电动缸在行程两侧的极限位置设计接近开关,当电动缸两端运动到超行程时,接近开关能够给出信号,实施断电保护。电动缸在设计时行程上要留出足够的余量,同时设计伸出/缩回极限位置机械限位。

2.6 电动缸的计算选型

电动缸的结构方案确定后,对电动缸各零部件进行选型计算。电动缸的计算主要包括电动机、减速机、齿轮、轴承、丝杠和螺栓的选型计算,以及缸筒、缸杆等关键结构件的强度、刚度和稳定性计算。

2.6.1 电机转矩及转速计算

$$T = \frac{Fl}{2\pi\eta} \quad (1)$$

式中: T — 电机转矩;

F — 电动缸载荷;

L — 丝杠导程;

η — 总效率, $\eta = \eta_{\text{减速机}} \times \eta_{\text{齿轮}} \times \eta_{\text{轴承}} \times \eta_{\text{丝杠}}$ 。

2.6.2 电机转速计算

$$n = \frac{60v}{2l}i \quad (2)$$

式中: v — 电动缸伸出速度;

n — 电机转速;

i — 传动比。

需要注意的是两级电动缸为两个丝杠副同时传动,故在计算速度时丝杠导程需要乘2。

减速机选型主要包括减速机型式、减速比、输入转矩和输出转矩的计算。本方案设计中减速机选用行星减速机,因齿轮传动比为1,故行星减速机减速比与总传动比相同。

丝杠根据电动缸负载及运行速度选型,本方案设计中为提高电动缸传动效率,一级丝杠副、二级丝杠副均选用滚珠丝杠,选型计算主要包括丝杠的导程、载荷及转速、额定动载荷、丝杠底径、压杆稳定性、Dn值校验、额定静载荷验算。

折返式电动缸减速机与丝杠之间的传动通常有齿轮传动、同步带传动。在本方案设计中根据其低温使用环境选用齿轮传动。齿轮根据缸筒与电机减速机安装距确定中心距、齿宽和模数,根据计算的转矩、转速和寿命,采用 KISSsoft 中的齿轮计算模块,对齿轮进行接触疲劳强度和弯曲疲劳强

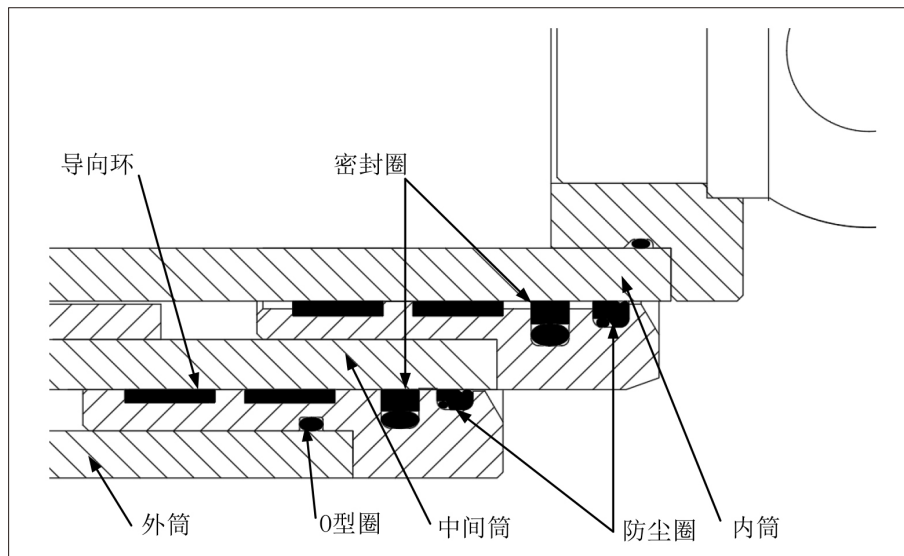


图2 电动缸密封结构

度校核。

轴承的选型包括一级丝杠副与二级丝杠副上安装轴承的选型。根据电动缸载荷及工作时间结合轴承的额定动载荷,额定静载荷对其承载能力和使用寿命进行核算。

2.6.3 缸筒强度校核

如果电动缸工作时有侧向力,缸筒的变形属于组合变形,缸筒任意截面所受的应力计算过程如下:

$$\sigma_1 = \frac{\sqrt{M^2 + 0.75T^2}}{W} = \frac{\sqrt{(F_r \times L)^2 + 0.75T^2}}{W} \quad (3)$$

式中: F_r — 电动缸所受的径向力,本方案中 $F_r=0$;

W — 截面的抗弯截面模量;

L — 径向力距计算截面的距离。

2.6.4 推杆的强度和刚度计算

内筒推动负载伸缩运动,内推杆应力验算:

$$\sigma_1 = \frac{F}{A} + \frac{M_1}{W} \quad (4)$$

中间筒对内筒起导向与径向支撑作用,不承受负载,中间推杆应力验算:

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W} \quad (5)$$

2.6.5 缸筒的压杆稳定性计算

推杆发生失稳的临界压力为:

$$F_{cr} = \eta \times \frac{E \times I_{min}}{l^2} \quad (6)$$

2.6.6 键的强度校核

电动缸上的键包括:主动轴上减速机自带的键和从动轴上传递齿轮扭矩的键。

键所受的挤压应力:

$$p = \frac{2 \times T}{D \times k \times l} \quad (7)$$

键所受的剪应力:

$$\tau = \frac{2 \times T}{D \times b \times l} \quad (8)$$

式中: T — 键传动转矩;

D — 键安装轴直径;

b — 键宽;

l — 键的工作长度。

3 电动缸零部件加工

两级电动缸中的缸筒、齿轮等零部件均可用正常加工方式加工,伺服电机、减速机、一级丝杠副及轴承均可采用成品外购件。

空心二级丝杠副作为传动中的关键零件,其内花键结构加工列为一项关键技术。为保证内孔与外圆的同轴精度,定制二级丝杠副时内孔由丝杠厂家一体加工而成。普通的内花键通常在拉床上加工出来,该两级电动缸为非标

产品,并且内花键长度太长,如果单独定制拉刀和拉床加工内花键费用过高。经过工艺研究并结合实际试验,最终确定了二级丝杠内花键的加工方式以及精度和表面粗糙度的要求。二级丝杠内花键采用线切割工艺加工。设计了专门的丝杠线切割装卡工装,防止加工过程中丝杠产生变形;根据机械设计手册中矩形花键的尺寸公差带和表面粗糙度Ra表中要求,结合实际加工工艺确定了内花键粗糙度要求及内花键尺寸公差要求。线切割加工完成后表面产生白层和高硬度淬火层,为保证花键副的耐磨性,二级丝杠内花键加工完毕后对内表面进行打磨提高光洁度。

4 多级电动缸的优越性

多级电动缸完美解决了单级电动缸实际应用中安装空间与工作行程间的矛盾,行程与展开长度比值高达60%,多级同步伸缩的结构设计大大缩短了伸出/缩回的时间。

与多级液压(气动)缸相比,安装空间更为紧凑,无复杂的管路,阀组、油(气)源及驱动系统维护方便;精度高,响应速度快,更容易编程控制,更容易集成到自动化系统中;整体为机械传动,不需要液压油或气体做传递介质,受高低温等环境因素影响小;解决了油液泄漏和气动噪音问题,对环境污染小,更可靠。

5 结语

本文在借鉴单级电动缸设计的基础上,以两级电动缸为例从系统的观点出发,设计总体传动方案,并考虑设计工况,对两级电动缸的密封、润滑、安全等结构设计提出了设计方案,同时对电动缸零部件的计算选型进行了介绍,并对电动缸关键零部件加工及设计过程中的注意事项进行总结,为多级电动缸的理论研究和实际应用提供参考。

参考文献:

- [1] 陈永辉,高名园,陈永红.我国执行器的现状及发展趋势[J].电力建设,2001(11):46-48+51.
- [2] 唐英.电动缸的传动和受力分析[J].重型机械科技,2007(4):10-11+14.
- [3] 徐文灿.电动缸与气缸[J].液压气动与密封,2006(2):19-24.
- [4] 许小松.智能电动执行器的设计与开发[D].杭州:浙江工业大学,2012.
- [5] 王敏,方亮,等.材料成型设备及自动化[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [6] 陈曼龙.滚珠丝杠副的结构形式及选用[J].机械工程师,2007(10):112-113.
- [7] 成大先.机械设计手册:机械传动(单行本)[M].5版.北京:化学工业出版社,2010.