

喷嘴挡板式电液伺服阀制造技术创新研究

李鸿雁, 孙祥平, 孙永生

(北京精密机电控制设备研究所, 北京 100076)

[摘要] 喷嘴挡板式电液伺服阀是液压系统实现控制功能的常用元件, 本文通过在某型号伺服阀产品工艺流程、关键零组件/工序工艺方法、工艺文件等方面进行超出传统方式的改进和试验, 完成了其制造技术的创新性实践研究, 优化了该类电液伺服阀生产模式, 提升了生产效率和能力。

关键词: 喷嘴挡板式; 电液伺服阀; 制造工艺; 创新

Research on Innovative Manufacturing Technology for Nozzle Flapper Hydroelectric Servo Valve

LI Hongyan, SUN Xiangping, SUN Yongsheng

(Beijing Research Institute of Precise Mechanical and Electronic Control Equipment, Beijing 100076, China)

[ABSTRACT] The nozzle flapper hydroelectric servo valve is common control component of the hydraulic system. In this paper, the improvement and test are carried out beyond the traditional ways in terms of manufacturing process, key components/process methods, process documents on one type of servo valve, and the research on innovative manufacturing technology is completed, optimizing the processing mode for the valve, improving manufacturing efficiency and capability.

Keywords: Nozzle flapper; Hydroelectric servo valve; Manufacturing process; Innovation

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.1/2.100

喷嘴挡板式电液伺服阀是较传统的液压系统控制元件, 一般亦按传统模式制造生产, 其工艺流程为单向直线型, 工序复杂且关键点多^[1]。在本单位提升产品制造能力的研究工作中, 通过参考现代化的生产组织方式, 考虑新的制造方法, 进行工艺方案创新^[2]改进并配合实践试验, 完成了对工艺流程、关键零组件/工序工艺方法、工艺文件等方面的改进, 有效提升了同类型产品的制造技术水平。

1 制造技术创新及实践

1.1 合并方式引入先进生产组织方式

传统模式下, 伺服阀生产工艺流程按装配—调试过程顺序进行, 各时间段任务分配不均, 遇到问题等待时间长, 对接客户需求不畅。通过引入现代化的生产理念并考虑本单位的实际需求, 创新性的合并引入了精益^[3]及定制式^[4]两种先进的生产组织方式, 对工艺流程进行梳理。前者关注流程简化、消除生产过程中不能增值的活动(过程浪费)^[5], 后者注重对生产工艺的模块式划分, 提升生产过程接轨客户需求的能力。

1.1.1 整体优化工艺流程

梳理伺服阀装调工序, 并进行模块式划分(图1), 现场操作者不固定工作岗位, 通过组织跨职能的生产团队, 根据产量目标及客户需求进行多种任务的转换生产, 减少生产流程中转及停顿时间, 起到提高生产效率以及减少响应客户需求时间的实效。

工艺流程特点变化:

(1) 制造工艺流程扁平化, 生产中可按产量目标设置多型号、多模块的工作频率及日产量需求。

(2) 装配—调试单向直线型工艺文件变更为按生产流程模块化编制的工艺文件, 生产过程发生问题时, 能够及时进行模块调整, 减少生产停滞及等待。

(3) 发生客户需求时, 在产量目标可控的条件下, 生产团队和工作模块进行灵活调整, 由于产量目标可控, 客户需求产品的前序模块已完成, 客户响应时间从全流程时间变更为部分模块流程时间。

(4) 由原来交替/排队满足库存/客户需求的加工方式变更为同时满足产量目标及客户需求。

1.1.2 调整产品检验、检查模式, 减少生产过程浪费

通过对机加检验与装检工序进行对比, 二者对伺服阀关键零、组件(包括阀芯套、喷嘴、节流组件等)的检查

有较多细节差异,针对该类伺服阀零件,试行采用了独立装检替代机加检验+装检的传统方式,减少由于检查要求差异导致的周转返修,充分提升并运用了装调检验者的专业技能。

1.2 创新关键装调工序工艺方法

控制喷嘴精密压调是伺服阀调试过程中最重要、难度最高的精密操作工序,通过对喷嘴与挡板间距离(0.03~0.06mm)的精密压装,需要实现对喷嘴腔压力的精确控制(图2)。

在对装调工艺进行分析和思考的过程中发现,大量批产阶段,对产品性能要求的重点应有变化,分析客户需求后,重新确认伺服阀喷嘴精密压调工序的控制目标及性能重点,通过工艺流程设计、专用工装设计、工艺参数调整及多次实践试验,创新了一种有别于传统方式的喷嘴精密压调新工艺方法——显微镜下精密压调喷嘴(图3)。

传统操作方法为:粗压喷嘴后,将产品安装到液压测试台上,升压到额定工作压力,一边通过精密压装工艺装备调整喷嘴与挡板间距离,一边观察喷嘴腔压力,确认喷嘴腔压力达到设计要求的数值范围后完成压装;创新操作方式为:装配过程中,压装同时测量喷嘴射流口距离,完成对喷嘴距离的精确控制。通过工序耗时统计对比,可直接提升效率55.6%。

对新旧工艺方法的详细对比如表1、表2所示,对于伺服阀关键装调工序——喷嘴精密压调所进行的创新操作简单轻便,降低了工序的设备及场地需求、利于流水线式批量生产,保证产品性能的同时,生产效率提高明显。

1.3 优化关键零件机加工工艺方法

1.3.1 阀套加工方式改进

阀套是伺服阀关键件,属典型的空心圆柱体结构,其内孔尺寸精度和圆柱度是滑阀偶件配合的关键。

原来精加工内孔采用涨刀式珩磨加工+手工修研,圆柱度差,尺寸一致性差,效率低下。通过改为针对产品定制刀具^[6]、专用工装,并结合采用新式定尺寸珩磨机床进行加工^[7],提升了加工质量及加工效率。

1.3.2 深度提升阀滑阀副配磨加

工能力

伺服阀滑阀副(阀芯、阀套)间隙量和搭接量的配磨是伺服阀零件制造中的关键工序^[8],影响伺服阀零位特性,动态、分辨率等诸多指标^[9]。在原传统加工指标要求不变的前提下,增加了针对每型产品,预留较理想的配磨曲线走势图作为参考,要求操作者对比进行加工,减少了由于加工参数合格而伺服阀性能不理想的产品返修,提升了阀滑阀副配磨的加工能力。

1.3.3 反馈杆加工工艺创新

反馈杆是伺服阀液压前置级和功率放大级之间的重要连接件,原生产方式为对型号进行加工,反馈小球采用渗氮方式提高硬度,生产周期长,产品耐磨程度也不够理想。

(1)通过反馈杆刚度配合反复调试试验,总结实际刚度与伺服阀性能表现之间的关系,将反馈杆刚度要求由多档简化为通用的3档,既能满足不同流量阀的流量、阀灵敏度的要求,也简化了加工过程,提升了产品零件的互换性。

(2)反馈杆小球表面硬度、耐磨度与伺服阀使用长时间后的性能有直接关系。经过市场调研及零件试验,小球的表面加工优化为采用某种新型刀具涂层材料处

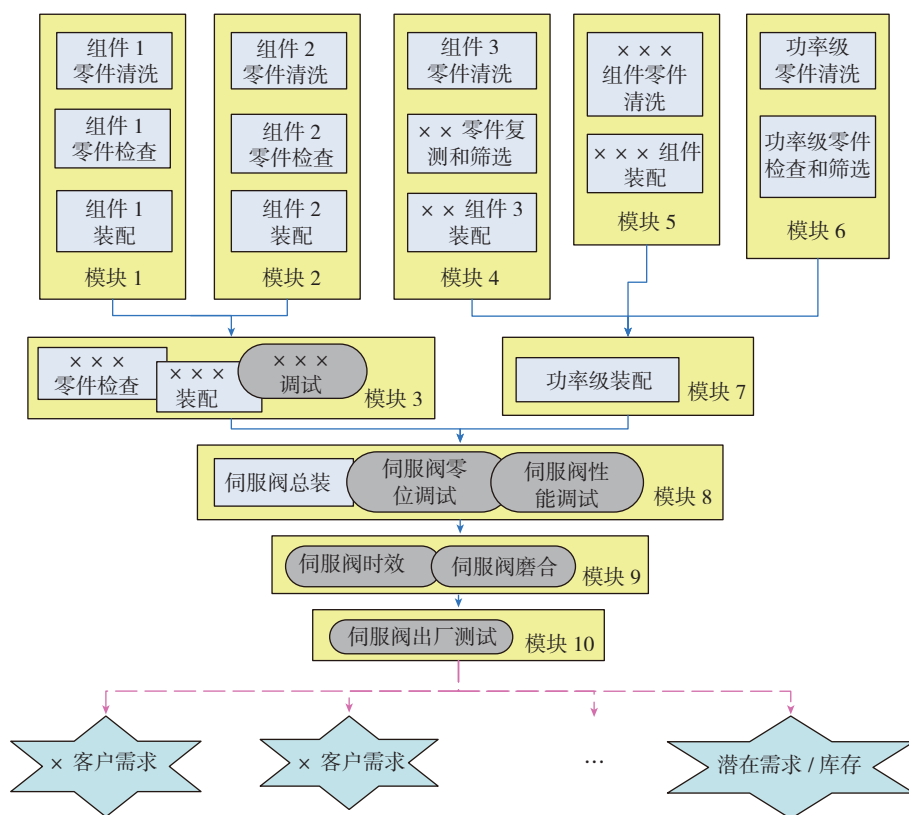


图1 改进后生产工艺流程

Fig.1 Improved process

(注:同模块工序交叠部分表示模块内工序为穿插同步进行)

理^[10],其特点是硬度高、氧化温度高、耐热性好,附着力、摩擦系数小、耐磨,成本也更低。经过试验验证,新型涂

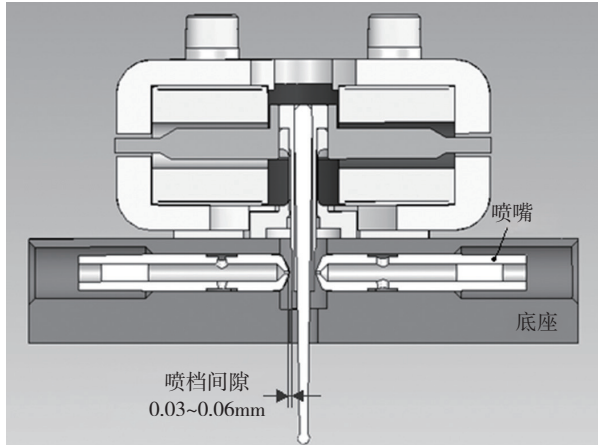


图2 伺服阀前置级喷档间隙解析图
Fig.2 Pre-stage of the servo valve



图3 显微镜下精压喷嘴
Fig.3 Push the nozzle under the microscope

层方式完全能够满足反馈杆的使用环境要求,装配后进行寿命实验,产品耐磨能力提高 2 倍以上。

1.4 新型工艺文件编制方式

将装配过程状态三维立体图析式装配工艺,全方位提升工艺文件可理解性、可操作性及阅读效率。

制造技术的提升也包括工艺文件可理解性、可操作性及阅读效率的提升。伺服阀装配过程复杂,专用工装、工具及操作技术难点众多,传统装调工艺文件均是文字为主,辅以产品装配图方式编制。通过参考国内、外的装调资料,创新了新型的装配过程状态三维立体图析式工艺,以增强工艺文件的易读性、可理解性,对提高生产效率、更好的适应难以避免的人员流动均有直接帮助,操作基本步骤如下:

- (1) 根据工序内容,绘制零件、专用工装、工具等零件三维图,进行工装使用状态模拟装配;
- (2) 选择视觉效果好,易理解、无歧义角度,进行过程状态爆炸图示操作;
- (3) 在爆炸图示中增加轴线、装配方向箭头、零件装配顺序编号等辅助图标,进一步增加操作引导指示;
- (4) 在爆炸图示旁按工步表格化增加操作技术难点文字说明。

实际使用后,新型装配工艺文件起到了易理解、提升阅读效率,防止装配误操作的效果。

1.5 生产能力变化情况

- (1) 装调部分。通过流程、检验模式及关键工序及工艺文件等全方面优化,全部装调操作时间下降到原基础的 60%左右。
- (2) 零件制造部分。关键零件总体返修率下降 20%以上;原需配加工的多种零件通过工艺改进,变为通用件;反馈杆刚度由多型号变更为通用 3 档,其小球硬化处理的新方法较原工艺方法降本增效 20%,同时

表1 喷嘴精密压调工艺方法相关需求对比

	创新方式	传统方式
专用设备需求	超高倍显微镜	调试台
专用工装需求	尺寸约(120×100×30)mm,重约0.3kg	尺寸约(500×200×100)mm,重约3.5kg
场地需求	装配间	装配间+调试间
工艺过程参数	喷档距离尺寸要求(mm)	喷嘴腔压力范围值(MPa)

表2 喷嘴精密压调工艺方法效果对比

	创新方式	传统方式
使用效果	操作简单; 经多批次产品实践验证,伺服阀性能完全能够满足民用需求; 有利于流水线式加工,进行较大批量生产时,效率提升明显。	操作过程繁琐、劳动强度大; 满足产品喷嘴腔压力及精度高一致性的要求; 产品均需逐个完成安装/拆下、启动/关闭调试设备等操作,加之还有车间周转需求,不可能进行流水线式操作,不利于大批量生产。

零件耐磨寿命提高 2 倍以上。

2 结束语

通过对本文中涉及生产制造流程、工艺方法、工艺文件等方面的研究和实践,有效提升了本单位某型号喷嘴挡板式电液伺服阀的制造技术水平,起到了提升该类伺服阀产品生产效率与能力的实效。文中的各个技术创新点,从不同角度体现了提高产品制造技术能力的实际需求,其优化内容、方式和思路,对同类型产品具有良好的借鉴和参考价值。

参考文献

- [1] 任光融,张振华,周永强.电液伺服阀制造工艺[M].北京:中国宇航出版社,1988.
- REN G R, ZHANG Z H, ZHOU Y Q. Hydroelectric servo valve manufacturing process[M]. Beijing: China Astronautic Publishing House, 1988.
- [2] 史晓.创新推行精细化生产组织模式[J].东方企业文化期刊,2013(10):157-158.
- SHI X. Innovative implementation of fine production organization model [J]. Oriental Enterprise Culture, 2013(10):157-158.
- [3] 刘树华,鲁建厦.精益生产[M].北京:机械工业出版社,2009.
- LIU S H, LU J X. Lean Production[M]. Beijing: China Mechine Press, 2009.
- [4] 唐中君,陈荣秋,纪雪洪.即时顾客化定制的运作策略和原则研究[J].工业工程与管理,2005(1):37-45.
- TANG Z J, CHEN R Q, JI X H. Operational tactics and tenets to implement instant customerization[J]. Industrial Engineering and Management, 2005(1):37-45.
- [5] WOMACK J P, JONES D T. Lean Thinking[M]. USA: Simon & Schuster, 1996.
- [6] 王广林.伺服阀阀口加工质量自动检测与控制的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2000.
- WANG G L. Research on automatic measurement and control of machining quality of servo valve orifice[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2000.
- [7] SCHEIDL R, MANHARTSGRUBER B. On the dynamic behavior of servo-hydraulic drives[J]. Nonlinear Dynamics, 1998, 17:247-268.
- [8] WANG D, DOLID R, DONATH M, et al. Development and verification of a two-stage flow control servovalve model[J]. American Society of Mechanical Engineer, 1995(2):121-129.
- [9] URATA E, NAKAO Y. Study of a flapper-nozzle system for a water hydraulic servovalve[J]. JSME International Journal Ser. B: Fluids and Thermal Engineering, 1998, 41(2):270-277.
- [10] 张武装,刘咏,黄伯云.硬质合金切削刀具涂层技术的发展[J].粉末冶金工业,2006,16(5):44-47.
- ZHANG W Z, LIU R, HUANG B Y. Development of coating technology of cemented carbides[J]. Powder Metallurgy Industry, 2006, 16(5):44-47.

(责编 李丹)

(上接第 99 页)

3 结论

本文对薄壁异型结构件的成型工艺进行研究,主要得出以下结论:

- (1)通过工艺可制造性分析,对设计结构进行优化,得出整体成型结构形式,并进行工艺总方案设计;
- (2)以达西定律为理论基础,应用 PAM-RTM 软件,对不同注胶口注胶过程进行仿真,选择从四边形截面内轮廓注胶的结构形式;
- (3)通过产品拔模分析,选择合适的模具类型和模具材料,设计 RTM 成型模具。

参考文献

- [1] 曹春晓.一代材料技术,一代大型飞机[J].航空学报,2008(5):701-706.
- CAO C X. One generation of material technology, one generation of large aircraft[J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 2008(5):701-706.
- [2] 林一平.复合材料助力大飞机瘦身增效[C].第17届全国复合材料学术会议,北京,2012.
- LIN Y P. High performance lightweight composite large aircraft[C]. The Seventeenth National Conference on Composite Materials, Beijing, 2012.
- [3] 张兴金,邓忠林.浅谈纤维复合材料与中国大飞机[J].纤维复合材料,2009(6):24-26.
- ZHANG X J, DENG Z L. The discussion on carbon fiber composite and passenger-carrying aircraft of China[J]. Fiber Composites, 2009(6):24-26.
- [4] 段宝,杨亚文,王雅杰.先进复合材料结构 RTM 技术现状及发展[J].沈阳航空工业学院学报,2007(9):18-21.
- DUAN B, YANG Y W, WANG Y J. RTM technology status and development of advanced composite structure[J]. Journal of Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, 2007(9):18-21.
- [5] 张保平,王运生. RTM 技术在大飞机复合材料构件上的应用[J].航空制造技术,2007(12):68-70.
- ZHANG B P, WANG Y S. Application of RTM technology in composite structure of large aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2007(12):68-70.
- [6] BECKWITH S W, HYAND C R. Resin transfer molding: a decade of technology advances[C]. SAMPE Journal, 1998, 34(6):7-19.
- [7] 施飞,董湘怀. RTM 树脂流动模拟及其对模具设计的意义[J].航空制造技术,2009(20):51-53.
- SHI F, DONG X H. Resin flow simulation in RTM and its significance to mould design[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(20):51-53.
- [8] RENAUD L, RUIZ E, BENOIT Y, et al. PAM-RTM user guide and tutorials[M]. Rungis Cedex: ESI Group, 2004.

(责编 李丹)