

制造控制技术用于换热器制造的发展建议

郝国永,张莹莹,高磊,元科

(辽宁石油化工大学机械工程学院,辽宁抚顺113001)

摘要:介绍了换热器制造工艺现状及不足之处,借鉴汽车、造船等行业先进生产技术、理论及未来装备质量控制的发展趋势,提出将制造精度体系运用到换热器设计、加工、装配中。通过制作三维管束工艺模型,介绍了三维工艺模型从建立模拟装配模型、虚拟装配到实物制造的过程。最后对换热器制造技术的进步革新做出展望。

关键词:换热器;工艺模型;虚拟装配;数字化控制

中图分类号:TE965

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2014)11-0005-04

Development proposals of manufacturing control technologies in heat exchanger manufacturing

HAO Guo-yong, ZHANG Ying-ying, GAO Lei, YUAN Ke

(Department of Mechanical Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China)

Abstract: The current situation and deficiencies of the heat exchanger manufacturing process are described. Based on advanced production technology, theory and development trend of equipment quality control in automobile, shipbuilding and other industries, the idea of applying manufacturing precision system to the design, fabrication and assembly of heat exchanger is proposed. The three-dimensional process is described from establishing assembly model, virtual assembly to physical manufacturing by making three-dimensional bundle process models. Finally, progressive innovation of heat exchanger manufacturing technology in the future is prospected.

Key words: heat exchanger; process model; virtual assembly; digital control

现在能源极其紧张,提高石油、煤炭等能源利用率已变得尤为重要,可是实现生产工艺技术进步何其困难,但研究人员忽视了对工艺换热设备设计及制造技术的提高,而要实现这一目的必须在制造手段上突破。所以引进三维模拟装配工艺设计和数字化制造技术,改进工人阅读二维图纸及在大脑中形成产品立体模型并理解具体装配操作后再进行后继工作的人工转换制造方式十分必要。笔者通过制作新型换热器(螺旋折流板换热器、错开窗换热器、螺旋叶片换热器等)管束工艺模型,发现换热器设计过程的不足之处,介绍其他制造业先进的精度管理理论及数字化生产技术,对换热器制造进行了初步探索研究。

1 三维工艺模型制造

1.1 计算机三维模拟装配模型建立

为了检验对于新型换热器结构学习效果及避免在实物模型制作中出现理论性错误,利用 Pro/Engineer 制作了计算机模型(如图1)。过程中发现一个设计精度方面的问题:按设计图纸参数下的折流板搭接处“过度”配合而不是设计者预想的刚刚搭

接配合。如果按图纸进行实际生产必然会造成折流板间距误差,同时造成误差积累,影响管束整体结构及性能。建议设计者在设计过程中建立三维计算机模型以辅助设计,可以检验参数的准确性,如发现问题可用计算机模型进行参数的微调,从而使设计参数更加准确及符合最初的设计预想,同时方便现场制造安装。



图1 螺旋折流板换热器管束 Pro/E 三维模型

1.2 计算机模型虚拟装配

装配工艺是面向制造过程的,由于设计缺陷具有从前向后的发散性,使得虚拟装配技术在设计过程中的应用非常重要,还可指导制造阶段的装配过程。利用 Pro/E 模型模拟装配代替实物产品试制,可将基于实物模型尺寸精度偏差评价转换为基于数字模型尺寸精度评价,最终确定零件公差、装配顺序。使生产前的工艺设计方案和生产中的质量控

制决策从基于经验的试凑模式向基于科学的推理模式转变。

虚拟装配模型定义是计算机内部对装配工艺规划过程中产生的工艺数据存储和描述的数字化表达方法^[1],是进行虚拟装配仿真、装配工艺规划和可装配性评价等过程的基础。国内外对此进行了许多研究工作:美国华盛顿州立大学开发的虚拟装配设计环境(virtual assembly design environment, VADE)通过零部件序列、装配路径和公差信息等表达装配工艺规划^[2-3];北京理工大学刘检华等^[1]建立了基于装配任务的虚拟装配模型,可表达虚拟装配工艺规划过程中的工艺数据;浙江大学刘振宇^[4]开发的虚拟装配系统通过建立装配历史模型,引入装配任务序列概念来记录虚拟装配建模过程。

三维虚拟装配模型优点:①方便演示新型换热器创新结构及原理;②设计者检验设计参数的准确性和精确度并熟悉整个装配制造过程工艺并进行现场装配指导;③录制模拟装配动画,指导工人快速熟悉新结构装配工作。虚拟装配技术为解决产品装配问题提供了一种强有力的手段。

1.3 工艺模型实物制造

在换热器新型结构的研发中,初步设计阶段只有粗略的整体布置及理论思路,缺乏直观的实物性验证方法,而利用钢材装配换热器管束模型拆装难度大,不便于观察结构特点,重复拆装对设备损坏大,易浪费材料。而采用有机玻璃管代替换热管及用树脂代替板材制造的工艺装配模型很好地解决了这一难题,模型整体美观、造价低廉并具有一定的强度(如图 2)。设计人员及装配工人可对工艺模型亲手进行拆装,熟悉实物装配过程更有助于其日后对新结构改进。国际 HX 激光三维电脑雕刻机,雕刻精度达到令人叹为观止的 0.001 mm,为模型精度提供了有效保证。

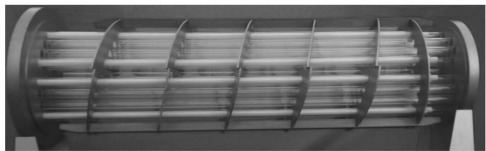


图 2 螺旋折流板换热器管束工艺模型

换热器管束工艺模型如同小区沙盘模型,是新型结构的有效载体,直观地展示了结构的改进特点。2013 年 11 月抚顺化工机械设备制造有限公司在换热器新产品鉴定会上展出此工艺模型,引起与会专家极大兴趣,取得良好效果。

2 换热器制造工艺现状及缺陷

尺寸偏差本质上是在制造过程中引入的,是零件毛坯偏差、机床误差、操作误差等因素引起的误差在制造过程中发散和累积造成的,如同交错的河流汇入江海,可形象地用偏差流作描述^[5-6]。但目前换热器的设计过程多数是基于 CAD 的二维平面技术,很少利用 Pro/E 三维软件生成立体模型进行辅助性的设计参考,不能对所设计的零部件之间的公差精度进行校验与微调,并且制造过程中大多依靠经验人工测量误差,缺乏数字性控制测量技术。这一制造模式已无法适应新型换热设备的设计制造。

另一方面由于加工技术局限性,折流板无法加工成完全的曲面螺旋线形状导致螺旋折流板换热器壳程流体流动状态不能形成连续螺旋流。只能用椭圆扇形板替代,造成工艺性能的折扣。

目前中国换热器制造业精力主要集中在对现有订单的制造方面,而忽略了完成订单之外的其他问题。由于精度控制管理方面与先进国家有较大的差距,精度控制达不到设计要求而导致制造质量低、制造周期延长等,降低了中国换热设备市场竞争力。中国换热设备生产企业的目光必须从“量”回归到“质”。开展换热器制造精度管理研究以及引进开发新的制造技术势在必行。

3 其他制造业的制造控制技术

在杨叔子院士提出的我国先进制造技术优先发展的 10 个方向中,第一个即为机电产品优化设计理论与方法及创新设计^[7]。林忠钦等^[8]从数字化工艺设计和数据驱动的工序控制两方面针对高端装备和高性能产品的制造需求,总结了面向线内质量控制的复杂产品制造工艺过程控制方法和面向线外质量控制的产品制造工艺数字化设计方法。

飞机制造业开发了基于三维装配工艺模型的装配现场可视化系统^[9]。利用此三维可视化浏览器,实现了工艺文件的快速浏览和装配动画的现场展示,强化工艺信息的现场指导作用。这种三维数据表达方式更能直接、准确反映工艺人员的设计意图,减少因数据理解不一致而导致装配错误的可能性,从而提高装配效率,降低研制成本,有效促进企业快速发展。

汽车行业建立了从白车身到焊接总成,再到冲压件逐级公差分解体系,做到针对每个 3D 尺寸具体到点。如东风汽车股份有限公司 2013 年 8 月在

日本S-LOT提供了12辆份F91G车型冲压件,车身骨骼精度达到了88.1%,超出了该阶段N-PES要求的80%指标。梁延焱^[10]针对汽车生产现状出发,提出车身制造应从模拟化转变到数字化,真正实现自主车身制造技术与世界接轨。

3.1 参考造船精度管理内容

造船精度管理分为补偿量计算与分配、建造过程控制以及精度标准制定,其内容如图3。补偿量计算目的是计算出不同制造因素下的补偿量,将补偿量分配到制造过程的每一道工序中,真正实现生产过程中补偿量代替余量,进行零余量造船;建造过程采取有效控制手段,保证超出精度要求的变形量在下道工序前消失;科学的造船精度标准能保证科学的精度计划的制定、合理精度控制目标的提出以及预防尺寸偏差的工艺技术措施的实施。补偿量计算与分配方法方面田丰增等^[11]根据精度管理数据库设计方法,采用ACCESS和VB软件实现了精度管理数据库的统计过程控制和补偿量计算功能及对船舶建造质量进行分析和监控。

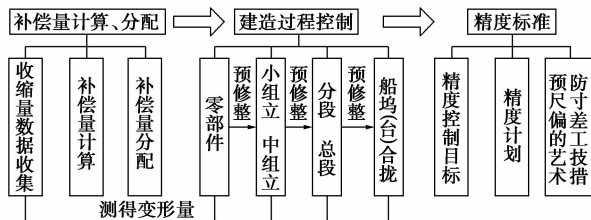


图3 造船精度管理内容

3.2 造船建造过程控制

3.2.1 造船精度测量技术

较高的测量水平和可靠的检测工具是提高造船精度的保障。随着现代测量技术的日趋成熟,测量技术已从接触式测量发展到非接触式测量。翟新涛^[12]根据现代测量技术的发展,针对船体分段等大型工件尺寸测量的需求,将线结构光应用到大型工件的测量系统中。钱华清^[13]利用激光经纬仪对航轴管膛孔及其孔前的轴线进行勘测,为现代造船过程提供了一种简单可靠的测量方法,提高了船厂的测量技术水平,推进了造船精度管理及过程控制技术发展。

3.2.2 造船过程精度控制

船舶制造过程中精度控制分为主动控制和被动控制。主动控制是研究造船过程中影响精度的因素,在精度损失前采取合理措施保证造船精度;被动控制是在造船过程中遇到突发因素造成预料之外的

精度损失时,及时采取措施保证造船精度。

山东省新船重工公司精度管理中利用全站仪等先进的测量设备对完工分段的垂直度、水平度、总尺寸等项目进行测量,与模型值进行对比,对偏差超出精度标准 $\pm 5\text{ nm}$ 的尺寸修整,保证船台合拢工序零余量。对30 000 t散货船建造成本统计,此初级精度管理技术对船厂生产的影响为如下3点:①钢材利用率提高0.3%;②减少船台使用周期5 d;③船台矫正及修割工时缩短20%。

4 初步探索

4.1 建立制造精度体系意识

设计精度包括精度分配和精度分析2个问题,精度分配指在满足给定整体精度前提下优化各零件精度。要提高换热器制造技术水平,必须建立健全制造精度管理体系,并将精度体系意识应用在结构设计、总成及零部件设计的每个环节中,避免现场反复配件及靠外力敲打进行装配的情况。设计者需通过科学有效的管理方法与先进制造技术相互结合,对换热器的设计、制造工艺和数据测量等进行相关的改进,最大程度地减少制造过程中产生的误差,对制造过程中的尺寸进行精度管理和控制,提高建造质量和工作效率。

船舶制造精度控制技术是以船体建造精度标准为基本准则,通过先进的工艺手段、科学的管理方法与对船体建造全程尺寸精度控制与分析,最大限度减少现场修整工作量,提高生产效率^[14]。于昌利等^[15]总结了工艺热应力变形机理等造船精度管理难点问题,提出了船舶建造动态控制的先进造船过程控制技术,从尺寸链方面解释预修整工艺中提高工序精度的原理。张明华^[16]解释了评估体系、标准和实施方法,以及造船精度管理计划等问题,为造船业提高市场竞争力指明了发展方向。

4.2 落实制造精度体系

换热器制造精度管理的意义:①在尺寸误差和线形误差允许范围内,有效提高换热器制造质量,保障安全运行;②有效控制换热器制造误差,保障结构精度;③提高材料使用率,减少或是避免返修,降低成本。只有采用先进测量工具及加强管理并完善精度管理标准,才能不断提高精度管理水平,适应现代制造生产模式的需要。

测量技术方面:全站仪光学工具法测量体积小、测围大、精度高、便于现场使用,应用于航空工业、核电设备、造船等大型精密设备安装。在总装车间设

立永久性光学测量定位点,在发现问题与现场工装调整上十分有效。

精度管理方面:加强检查方法全过程管理,为精度体系落在实处严格把关。F91G 是东风汽车公司开发的西班牙市场高端轻卡,厂家收到车身零部件 Date-note 表后,必须按 DFAC 项目组要求做出每个零部件的《检测报告书》,得到设计部门和西班牙工程师认可。报告内容包含每个零部件最终交货时的尺寸精度、形位精度等必检项目,此做法是为了让设计师明确自己设计产品的关键控制点在哪儿及对关键控制点的具体要求。这一做法非常有必要应用到换热器的设计制造过程中。

5 复杂装备质量控制发展趋势

未来装备系统的结构功能将更加复杂,工作质量及服役能力要求愈趋极端化,要求探索复杂制造过程中质量控制新原理,突破现有技术^[17]。国际学术界和工业界近期对制造质量控制趋势的研究发展体现在两方面。

(1) 设备质量控制从“精度驱动”向“性能驱动”转变。如航空发动机涡轮叶片工作温度达 1 100℃,寿命要求达到数千小时;飞机起落架冲击载荷达数百吨,需经受 3 000 飞行小时以上的考验。这些高端装备要承受强冲击载荷、高温高压、长服役寿命的考验。所以研究性能驱动的数字化制造新原理和新方法,主要体现在面向服役性能的抗疲劳制造、性能驱动的公差精度设计、测量加工一体化等方面。

(2) 设备质量控制从“考虑力学效应为主”到“考虑力学与物理效应融合”。现代制造工艺愈来愈多地融入现代物理效应。超精密抛光能够达到低于 1 nm 的表面粗糙度及几十纳米的面形精度,其材料去除过程涉及微观力、磁、热等多能场耦合作用。考虑力学与物理效应融合的制造过程仿真具有多领域、跨尺度、多能场耦合的特点,所涉及的科学问题包括力、热、电、磁等多能场复合作用下材料去除/添加过程的微观机理^[8]。

在超高温高压、剧毒等极端条件下有很多换热设备服役,对其制造质量控制的提高势在必行,以应对复杂产品制造质量控制技术的变革。

6 结语

换热器装配技术是衡量换热器制造水平的重要指标,对其使用寿命及安全可靠性起着决定作用。汽车、造船等制造业已实现自动化、数字化生产,而

国内换热器制造工艺依然停留在依靠二维图纸、装配技术要求、工装条件及工人经验形成的装配流程上^[18]。这种基于二维装配工艺已不能适应现代制造技术的发展。

从我国换热设备制造业长远发展来看,制造精度管理与过程控制技术的研究应列入日程,使转变质量控制和改进决策从基于经验的试凑向基于科学的推理模式发展。开展针对取代人工经验补偿量的建模系统研究、建造过程中检测和数字化控制技术研究等。

相关换热设备数字化生产技术方面研究鲜有报道,笔者制作换热器管束模型过程中,认真研读文献,发现换热设备制造业与汽车、轮船行业制造技术及理念的差距,并进行了初步探索。通过介绍其他行业的先进制造技术,希望国内研究人员进行技术交流学习及与国际项目合作,提升自主品牌市场竞争力,掌握与国际水平同步的自主制造技术,实现换热器自主制造技术实现从人工模拟化到数字化的彻底转变,以适应新型设备制造需求。

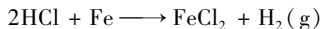
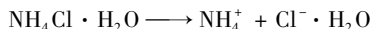
参考文献

- [1] 刘检华,宁汝新,姚珺,等. 基于装配任务的虚拟装配工艺模型研究[J]. 系统仿真学报,2005,17(9):2163-2166.
- [2] Jayaram S, Jayaram U, Wang Y, et al. VADE: A virtual assembly design environment [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1999, 19(6): 44-50.
- [3] Jayaram S, Jayaram U, Kim Y J, et al. Industry case studies in the use of immersive virtual assembly [J]. Virtual Reality, 2007, 11(4): 217-228.
- [4] 刘振宇. 面向过程与历史的虚拟环境中产品装配建模理论、方法及应用研究[D]. 杭州:浙江大学,2001.
- [5] Huang W Z, Lin J J, Bezdecny M, et al. Stream-of-variation modeling-Part I: A generic three-dimensional variation model for rigid-body assembly in single station assembly processes [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2007, 129: 821-831.
- [6] Huang W Z, Lin J J, Kong Z Y, et al. Stream-of-variation (SOVA) modeling-Part II: A generic 3D variation model for rigid body assembly in multistation assembly processes [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2007, 129: 832-842.
- [7] 杨叔子,吴波,李斌. 再论先进制造技术及其发展趋势[J]. 机械工程学报,2006,42(1):1-5.
- [8] 林忠钦,来新民,金隼,等. 复杂产品制造精度控制的数字化方法及其发展趋势[J]. 机械工程学报,2013,49(6):103-112.
- [9] 屈力刚,魏佩振,苑俊超. 基于三维工艺模型的装配现场可视化[J]. 制造业自动化,2013,35(10):83-86.
- [10] 梁延焱. 自主车身制造技术从模拟化到数字化的转变[J]. 汽车零部件,2013,(10):86-90.

1.2 NH₄Cl 垢下腐蚀

油中含较多氯化物以及过程脱除的氯化物会带来诸如焦化或催化分馏塔、重整预加氢或加氢反应流出物系统的 NH₄Cl 结盐及腐蚀等问题。

氯化铵盐腐蚀为:



结盐及垢下腐蚀,盐通常为白色、绿色或灰色。盐下面的腐蚀通常是局部的,会导致点蚀,腐蚀速度可能非常高。结盐可以通过阶段性停工水洗方式维持生产,但无法清洗干净的残留氯化物会产生严重腐蚀。同时各种物料、污水中氯含量的上升对各装置设备腐蚀也会加剧,腐蚀隐患会长时间存在,随着运行周期的延长将逐步表现出来,对炼油装置长周期安全稳定运行将构成严重威胁。

1.3 氯化物应力腐蚀开裂

由于二次加工装置的关键部位大量使用对氯离子敏感的奥氏体不锈钢和一些镍基合金,从而又容易造成孔蚀及外加应力与残余应力的应力腐蚀开裂这些高危害的局部腐蚀,通常金属温度高于 60℃,温度增加,开裂的敏感性增加。含氯化物水溶液氯离子含量增加,开裂的可能性增加。干湿或蒸汽和水的交替变换也会有助于开裂。溶解氧的存在增加开裂的可能性。应力腐蚀开裂通常发生在 pH < 2 的环境。在碱性 pH 区域,开裂倾向降低。当氯化物浓度超过 50 μg/g 时,开裂敏感性也增加,尤其是

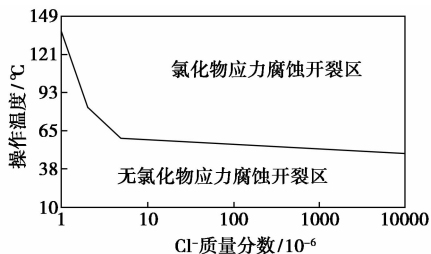


图 1 304 和 316 不锈钢的氯化物应力腐蚀开裂图

在酸性环境中。如果工艺介质中的氧含量低于 0.1 μg/g,氯离子应力腐蚀开裂会在图 1 中的氯化物应力开裂区域内发生。

1.4 催化剂中毒

氯有未成键的孤对电子,并且有很大的电子亲和力和,容易与金属离子反应。此外氯离子还具有很高的迁移性,常随工艺向下游迁移,形成的催化剂中毒往往是全床层性的^[1]。氯化氢会对加氢催化剂的加氢-酸性功能之间的平衡产生影响,从而影响其选择性^[2]。

2 腐蚀问题对装置的影响

2.1 常减压装置

由于加工及掺炼高氯原油,常压塔顶、初分塔顶空冷腐蚀速率增大,从腐蚀检测系统中看出常顶空冷入口腐蚀率已经超过 1 mm/a,初顶空冷入口也已经超过 0.2 mm/a。此部分为碳钢材质设备、管线,表现为均匀腐蚀,如是奥氏体不锈钢材质,会增加氯离子应力腐蚀开裂风险。空冷腐蚀情况见图 2。

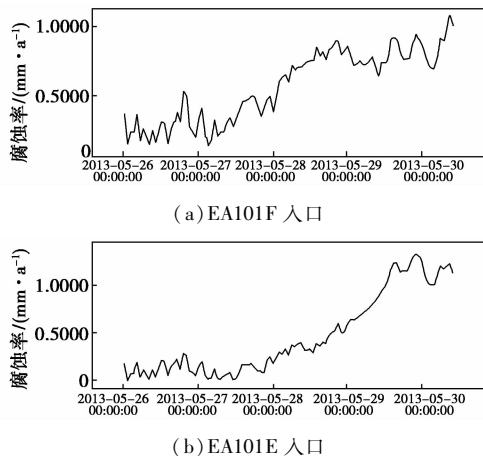


图 2 四常常顶空冷腐蚀速率趋势图

通过对四常装置常顶、顶循、常一等易腐蚀的部位进行测厚检查,发现顶循抽出第一个弯头内弯腐蚀减薄到 3.48 mm(原厚度 8 mm),分析该处为铵盐

(上接第 8 页)

- [11] 田丰增,刘玉君.数据库在造船精度管理中的应用[J].造船技术,2005,263(1):41-42.
- [12] 翟新涛.基于双目线结构光的大型工件测量[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2008.
- [13] 钱华清.采用激光经纬仪勘测船舶建造中的基准线[J].造船技术,2008,281(1):22-26.
- [14] 刘善德,翟永兴,史佐.造船精度管理是实施总装造船的支撑性

技术[J].造船技术,2007,277(3):23-26.

- [15] 于昌利,初冠南,张喜秋.船舶制造精度管理及过程控制技术探讨[J].现代制造工程,2011,(4):1-4.
- [16] 张明华.精益造船模式研究[M].北京:中国经济出版社,2005.
- [17] 王国彪.国家自然科学基金委员会机械工程学科发展战略报告(2011—2020)[M].北京:科学出版社,2010.
- [18] 姜宇峰.三维装配工艺设计系统关键技术研究[D].武汉:华中科技大学,2007,5:1-3. ■