

企业提升高端装备核心零部件 装配精度方法初探

杨成

(安徽省新技术推广站, 合肥 230061)

摘要: 我国制造业规模居世界第一位, 但大而不强, 能力过剩和结构性短缺反差强烈, 高端装备的核心、关键零部件受制于人, 成为制造业转型升级瓶颈。国内大部分企业以传统的生产方式已达到极限水平, 难以满足高端装备对核心、关键零部件的精密、小体积、高靠性等要求。信息技术与制造业协同创新、深度融合正在引领制造业向智能制造变革。本文以提高零部件的装配精度为切入点, 探索在现有加工设备的条件下, 利用成熟的精密测量、数据存储和计算机软硬件等技术, 以传统选配工艺和全零件测量数据为基础, 解决传统选配方案凭经验和判断性测量, 难以确定本企业最优分组数和最佳装配精度, 实现企业的制造工艺向拥有核心灵魂的原始创新跨越, 突破高端装备核心、关键零部件的制造瓶颈。

关键词: 高端装备核心零部件; 性能; 装配精度; 集成创新

1 装备制造转型升级的瓶颈和机遇

制造业是国民经济的主体, 是立国之本、兴国之器、强国之基。经过几十年快速发展, 我国制造业规模跃居世界第一位, 但制造业大而不强, 总体仍处于国际分工和产业链的中低端, 尤其在经济增速放缓以及市场需求下降的今天, 高端装备核心、关键零部件为发达国家所掌控, 受制于人的矛盾会愈发突出, 能力过剩和结构性短缺反差强烈, 加剧了产业“国退洋进”风险, 严重制约了制造业转型升级, 是制造业“由大变强”的瓶颈。如挖掘机的液压系统和发动机两项组成的核心零部件就占成本的 42%, 工

业机器人三大核心零部件减速器、控制器和伺服电机占成本的 75%, 市场份额占据了国内 70% 以上, 且外商凭借市场垄断制定了大量“霸王条款”, 要求国内企业提前订货期, 甚至延长订单交货期等, 严重影响了行业正常生产秩序。

当前, 新一代信息技术与制造业深度融合, 正在引发影响深远的产业变革。基于信息系统的智能装备、数字车间和智能工厂等智能制造正在引领制造方式变革。跨领域、跨行业协同创新, 为高端核心、关键零部件等重点领域关键共性技术的突破提供了新的路径。本文以提高零部件装配精度为切入点, 将现代精密测量、大数

收稿日期: 2015-06-30, 修回日期: 2015-08-04

作者简介: 杨成, 男, 安徽省新技术推广站推广二室主任。上海交通大学机械制造及工艺专业毕业, 长期从事企业信息化和技术创新体系建设的推广工作。对企业信息化和技术创新体系建设内容、步骤及实施方法论有一定造诣, 形成了一套数据分析、建模及异常数据模型优化的方法论, 主持编制了安徽省地方标准《中小企业成长性评价》(DB34/T 2330 ~ 32)。

据存储计算与传统的选配工艺融合，探索跨领域跨行业协同创新的新路径。

2 改善零部件装配精度的理论思考

高端装备的核心、关键零部件结构复杂、精密度高，且要求体积小、重量轻、噪音低、振动小、可靠性高、运行平稳和寿命长。随着相关产业的快速发展，对产品的性能指标提出了越来越高的要求。在制造上，业内基本是提高零件的加工精度或装配精度来解决。作为本身精密度要求极高的产品，大部分零件的加工精度已经达到了当前生产设备的极限水平。如果再提高零件的加工精度，势必要对加工设备更新换代，这将使生产成本以指数级增加，如没有批量和高技术工人保障，不具有可行性。在现有的生产设备的条件下，调整装配工艺是可行的途径。

对传统手工模式而言，调整精密产品的装配工艺难度极高。一方面，精密产品零件数量多、精度高，且零件间配合关系复杂，任何细微差错都会体现在产品的最终性能上；另一方面，调整选配方案，无论是方案设计、验证工作量，还是执行过程中的测量、保管、运输和分组等工作量都将呈指数倍增加。随着高精度检测、计算机和存储技术的发展，网络化、数字化和智能化闭环制造系统成为高端制造的发展方向，制约选配方案优化的零件检测量、检测精度、人工分组计算验证工作量和生产成本等制约因素得到了很大改善。

3 关联技术的发展现状

3.1 传统的装配工艺

(1) 机械装配。

按照设计的技术要求，实现机械零件或部件的连接，组合成机器。机械装配是机器制造的重要环节，装配工作的好坏对机器的效能、修理的工期、工作的劳力和成本等都起着非常重要的作用。零件的装配有互换、选配、修配和调整 4 种配合方法，批量生产主要是互换法和选配法。

(2) 互换法。

装配的同一种零件能互换装入。零件加工公差要求严格，它与配合件公差之和应符合装配精度要求，装配质量稳定可靠，装配过程简单，装配效率高，易于实现自动装配，便于组织流水作业，产品维修方便，主要适用于生产批量大的产品。但是对设备精度要求较高，尤其组成环数较多时，组成环的制造公差规定得严，零件制造困难，加工成本高。

(3) 选配法。

对于组成环数少而装配精度又要求特别高的机器结构，为了提高加工经济性，将精度高的零件的加工公差放宽，然后按照实际尺寸的大小分成若干组，使各对应的组内相互配合的零件仍能按配合要求实现互换装配。特点：①零件的制造精度不高，却可获得很高的装配精度；②组内零件可以互换，装配效率高；③凭经验和判断性测量来分组，在很大程度上取决于人的技术水平，不易准确控制装配精度；④零件的分组数不宜太多，否则会因零件测量、分类、保管和运输工作量的增大而使生产组织工作变得相当复杂；⑤难以控制各组零件数完全匹配，多余零部件浪费大。

3.2 数字化精密量具的发展现状及趋势

数字化测量是高端制造的关键技术。高环境适应性、亚微米、纳米级测量仪器从计量室进入生产现场，为高端制造网络化、数字化和智能化奠定了的基础。

(1) 数字化量具发展现状及趋势。

在生产实践中，根据普通的工件精度要求，一般使用直尺、游标卡尺和千分尺等测量工具数字显示已基本普及，位移传感器的测量精度从微米量级向纳米量级提升已经成为发展趋势。Heindenhain、日本三丰及 SONY 等国外公司近年来都相继推出精度达到纳米级的光栅式长度计，北京标普公司采用了有自主知识产权开发的 SGG-01 型 0.1 纳米测长仪，分辨力达 0.1nm，示值误差 $\pm (3+0.03L) \text{ nm}$ 。量具基本都有数据通讯接口，但这些测量手段的准确率和效率往往与操作者的经验和工作态度有关，难以满足一些现代化生产制造场合的高效的在线 100% 检测要求，同时测量的数据极少在线存储。

(2) 机器视觉引领高精度尺寸测量。

基于机器视觉的检测技术，以其自动化、非接触、高可靠性和多工件多尺寸（长度、距离、角度、形状和位置）高精度测量，不受操作者的疲劳度、责任心和经验等因素影响的特点，在国内外制造业得到了深入研究和广泛应用。测量仪从检验室进入车间、对生产现场零部件 100% 检测成为发展趋势。目前机器视觉测量精度已经达到亚微米级以上，能够满足绝大部分高精度零部件的检测要求。德国 MAHR 公司、瑞士 TESA 公司和日本三丰公司等三维视觉测量系统，仪器分辨力 $0.01 \mu\text{m}$ ，测量精度 XY 轴 $(0.3+L/1000) \mu\text{m}$ ，Z 轴 $(1+2L/1000) \mu\text{m}$ 。国内西安德华、东莞万濠、苏州怡信、深圳鑫磊以及北京天地宇等公司也有类似产品，贵阳新天光电公司的仪器测量精

度达到 $(1.0+L/100) \mu m$ 。

3.3 数据存储发展现状与演变趋势

数据存储是增长最快的半导体技术。每 12 到 18 个月，存储能力就会提升一倍。如今，台式机硬盘存储容量最高可达 4TB，这意味着能装下 1 万张照片或 562 个小时的高清视频。硬盘制造商希捷表示，到 2020 年，热辅助磁记录技术将给世界带来 60TB 台式机硬盘，足够存储 12 万张照片或 6,750 小时高清视频。

与有着 60 年悠久历史的硬盘驱动器技术不同，NAND 闪存技术还很年轻，有很大的发展提升空间。如今，NAND 闪存的存储能力以每年 175% 的速度增长。MicroSD NAND 存储卡的体积比指甲还小，存储容量却超过 100 亿字节。

大数据时代，云存储 (Cloud Storage) 应运而生。与传统存储设备相比，云存储不再仅是一个硬件，而是一个由网络设备、存储设备和应用软件等多个部分组成的复杂系统。“云存储可颠覆磁盘阵列所代表的传统存储需求。”基于 x86 服务器的分布式存储系统、虚拟化技术和闪存的广泛普及，以及软件定义的存储技术等，都使云存储能够以更低的成本快速向前发展。数据量的大小由 TB 级增长至 PB 级，云环境下的大数据存储成为未来的发展趋势。

4 大数据环境下的选配工艺技术实现

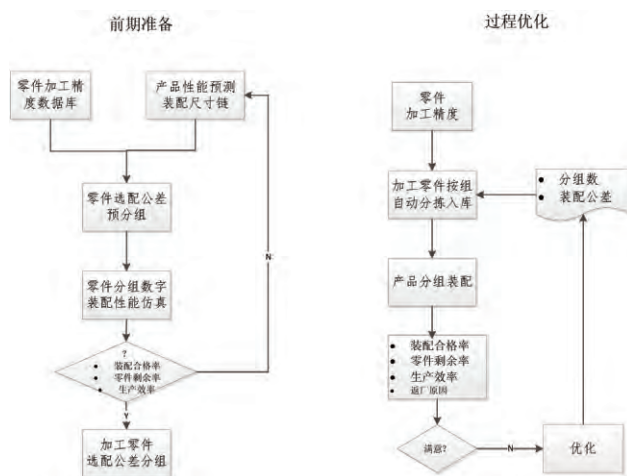


图 1 大数据环境下的选配工艺流程

4.1 前期准备

(1) 建立机器视觉检测线或利用现有数字化量具 100% 测量加工零件精度，并在线存储，建立全部零件加工精度数据库，积累海量的零部件精度数据，通过数据统计，

找到各零件基本尺寸、公差和偏差稳定的分布概率。

(2) 制定产品精度提升的目标，确定组成环零件组的基本尺寸、偏差和配合公差，按照产品装配图进行数字装配，仿真运行，检查、验证验证各组成环精度可行性；并根据装配合格率、零件剩余率和生产效率，建立优化模型，经反复优化，确定加工零件分组数和选配公差。

(3) 预测投入产出，确定建立数字化检测线和自动分拣生产线的可行性。

4.2 过程优化

(1) 建立数字化检测线和自动分拣生产线，保证零件加工精度 100% 的记录和存储。

(2) 实施基于物联网的库库存位管理，对全部零部件可识别分类包装。库管人员只需将生产指令、数量输入电脑，系统会自动匹配各组别零件的库存数量，选择最佳的组别，并将所需零部件从库位上取出，送往装配车间。

(3) 详细记录每个产品的出厂质量，建立产品可追溯档案；尽可能多地收集客户对产品的满意度，对客户返厂产品进行质量分析和记录。

(4) 按照装配合格率、零件剩余率、生产效率、客户满意度和返厂产品质量等因素，准确及时掌握工艺系统的工作状态和误差变化趋势，持续完善优化模型、优化加工零件选配公差和分组数

(5) 产品升级。利用国家的扶持政策，充分发挥科研机构理论研究优势，构建经实践验证的产品全生命周期的大数据平台，研究全生命周期数据统一模型及现场运行过程检测技术、面向故障与效率的数据关联分析技术，形成面向产品的海量实践数据和理论研究深度融合的产学研合作，实现产品从模仿设计向拥有核心灵魂的原始创新跨越。

5 大数据环境下的选配工艺的意义

5.1 低投入、高产出，突破制造业“由大变强”的瓶颈

增加的检测、工艺优化和分拣设备的投入，相对研发试制高端装备核心、关键零部件巨额的研发成本微不足道。零部件制造厂商转换产品升级换代观念，走从中低端向中高端的策略，即企业以现有满足主机厂中低端产品，通过优化装配工艺，主动提高产品的性能指标，必然完全满足主机厂中低端产品的要求，一方面使主机厂用户在原机型无障碍采用，经一段时间应用后，以“实效”树立主机厂的信心，逐步推动主机厂在高端机型的核心、关键零部件上应用；另一方面，零部件制造厂商通过海量数据的积累，

不断优化装配工艺，形成具有真正灵魂的、稳定的、难以模仿的工艺，保证产品的性能质量，形成经济增长新动力，塑造国际竞争优势。

5.2 效益驱动，推动零部件制造厂商智能工厂建设

通过零部件制造厂商将新一代信息技术与装配过程融合，建立零部件加工精度和装配过程的数字化——建设数字化装配车间，形成的产学研合作经验，其成果可有效树立企业两化深度融合的信心，推动企业进一步推进信息技术与制造过程深度融合，建立从毛坯、粗加工、热处理、精加工、毛刺和飞边清理打磨等到零件加工全过程的数字化，并在海量数据积累的基础上，持续优化改造现有加工工艺流程，在有限的设备投入下，实现零件的加工精度或装配精度双向提高——建设智能工厂，全面提升企业的资源配置优化、实时在线优化、生产管理精细化和智能决策科学化水平，新一轮产业竞争中，抢占智能制造这一制高点。

5.3 零件精度分组工艺不可复制，成功经验可推广

基于企业个性化设备和人员加工出零部件海量精度数据的概率分布，并根据装配合格率、零件剩余率、生产效率、客户满意度和返厂产品质量等因素，确定组成环分组数，每组零件的基本尺寸、配合公差等工艺参数和优化模型是企业产品的核心灵魂，同行企业简单复制无效，也就是企业的核心知识沉淀不可复制，可以有效保护企业产品的竞争力。本文以提高装配精度为切入点，技术创新上，需要

将现代精密测量、大数据存储计算与传统的选配工艺融合，实施跨领域跨行业的协同创新，企业可完成海量的数据采集和存储，提出客户的要求，大量的理论研究、数字仿真、模型提炼优化等研究工作，企业不具优势，势必要引进专业研究机构，进行产学研合作。因此，通过项目实施，总结出的实施方法论，采用的检测设备，数字仿真软件、优化模型规则的提炼方法等，以及形成的专家团队，可在行业内共享，推动行业内企业从模仿设计向拥有核心灵魂的原始创新跨越。

6 结语

我国经济发展进入新常态，经济增速放缓，市场需求下降，资源和环境约束不断强化，劳动力等生产要素成本不断上升的环境下，整机生产企业在核心、关键零部件受制于人的背景下，难以继续通过内部挖潜以及产品提价等方式部分的转嫁上游供货商提高配件价格产生的高成本，维持较稳定的盈利能力；而新一代信息技术与制造业深度融合，基于信息物理系统的智能装备、智能工厂等智能制造正在引领制造方式变革。以市场需求为导向，利用相关领域的创新成果，通过创新链的资源配置，实施跨行业协同创新，建立以企业为主体，政产学研用相结合的制造业创新体系，是可以突破制造业核心、关键零部件的瓶颈，促进制造业数字化网络化智能化，走创新驱动的发展道路。

《智能制造》杂志征稿通知

一、征文范围

1. 数字化设计与制造
2. 智能设计理论、方法及系统
3. 自动化与现代制造系统
4. 机器人技术及应用
5. 虚拟设计与虚拟样机
6. 网络化控制与制造技术
7. 绿色设计与绿色制造中的智能技术
8. 智能加工、智能检测与控制
9. 数字企业与数字化工厂
10. 制造系统建模、运行、控制、优化与调度
11. 先进制造模式与战略
12. 制造信息与知识处理
13. 数控技术与数字化装备
14. 现场总线与无线传感网技术

注：以上内容范畴仅供参考，围绕智能制造全领域，具体题目请自拟。

二、论文遴选、刊录出版和基本要求

1. 《智能制造》编辑部组织编委会有关专家，对投稿进行审查、遴选，择优刊登。审查遴选期限为自编辑部收到稿件后的三个月。对于刊登的论文，编辑部提供正式录用通知。

2. 论文内容必须是作者未正式发表过的研究成果，论文主题与智能制造相关，投稿作者须恪守学术道德规范，文责自负，严禁一稿多投及中途撤稿。论文字数 4000 ~ 7000 字。

3. 论文应包括以下项目：论文题目；作者简介（200 字以内，包括姓名、工作单位、通信地址、电话、手机、电子信箱等）；中文摘要、关键词、标题和正文、参考文献。

三、编辑部投稿联系方式

联系人：张友苹

联系电话：010-68993880-293

邮箱：imchina@idnovo.com.cn