

智能制造时代机械设计制造及其自动化技术探讨

秦君民

北京庆宜诺技术开发有限公司，北京，100000；

摘要：为探讨智能制造时代机械设计制造及其自动化技术，采用理论结合实践的方法，立足智能制造的特点与优势，分析了智能制造时代机械设计制造中自动化技术的应用，并提出智能制造时代机械设计制造及自动化面临的挑战与应对策略。分析结果表明，机械设计制造具有很强复杂性、技术性，需考虑的因素比较多，而智能制造的核心是将信息技术与制造技术进行充分融合，在机械设计制造中应用智能制造时代诞生的数字化设计技术、虚拟现实技术、人工智能辅助设计等新兴技术，可大幅度提升机械设计制造的效率和质量，助力我国制造业持续健康的发展。

关键词：智能制造；机械设计制造；柔性化技术；自动化技术

DOI: 10.69979/3041-0673.25.12.019

引言

在信息技术、人工智能、物联网等新兴技术飞速发展的背景下，全球制造业已经迈入了智能制造的新时代。和传统相比，智能制造具有数字化、网络化、智能化等特征，可实现生产过程的高度灵活、高效、精准与个性化，有效解决了传统机械设计制造及其自动化应用效率低、灵敏度不足的问题。在智能制造时代机械行业作为制造业核心，其设计制造及自动化技术面临着前所未有的挑战与机遇，基于此，开展智能制造时代机械设计制造及其自动化技术的探讨分析就显得尤为必要。

1 智能制造的特点和优势

智能制造是现代先进技术的产物，融合了大量先进的技术（5G通信技术、AI技术、大数据技术、云计算技术等），通过先进的技术来实现传统制造行业供应商、设计、制造、销售、售后的全面整合和优化升级，在结合新型的创新技术来提升机械设计制造的产能。和传统制造相比，智能制造所具有的优势主要体现在以下几个方面：

1. 提升生产效率。智能制造可利用自动化设备（如机器人、AGV无人车）和智能调度系统，来减少人工干预，实现24小时连续生产。而基于数据驱动的工艺优化则可以大幅度缩短生产周期，提升机械设计制造的效率和精度。

2. 降低成本。在机械制造领域具有很强的竞争性，而成本则是决定机械制造企业竞争力的关键所在，开展智能制造利于企业大幅度降低成本，提升市场竞争力。比如：利用机器人和自动化设备来替代重复性劳动，可大幅度降低对低成本劳动力的依赖。而通过需求预测和供应链协同，可实现“零库存”管理。

3. 提高产品质量。利用数字化设计（如CAD/CAE）和仿真技术（如有限元分析）可在研发阶段优化产品性

能。而通过智能检测系统（如机器视觉、光谱分析）实时监控产品质量，降低缺陷率，提升机械制造产品质量。

2 智能制造时代机械设计制造中自动化技术的应用

2.1 CAD 和 CAM 技术的应用

在智能制造时代，机械设计制造中的自动化技术（如CAD、CAM）是实现高效、精准生产的主要工具。CAD是机械设计中常用的计算机复杂设计技术，通过专业的计算机软件可设计出机械产品的二维图、三维图，以提升设计的效率和精度。而CAM则是机械制造中经常会用到的计算机辅助技术，二者结合使用可大幅度提升机械设计制造的效率和精度。比如：某汽车零部件制造企业为响应智能制造时代的发展要求，提升企业市场竞争力，在2021年开始采用SolidWorks CAD软件进行零部件的三维建模（如图1所示），在设计发动机缸盖时，设计人员通过参数化建模快速修改尺寸参数（如孔位、厚度），并实时验证结构合理性。

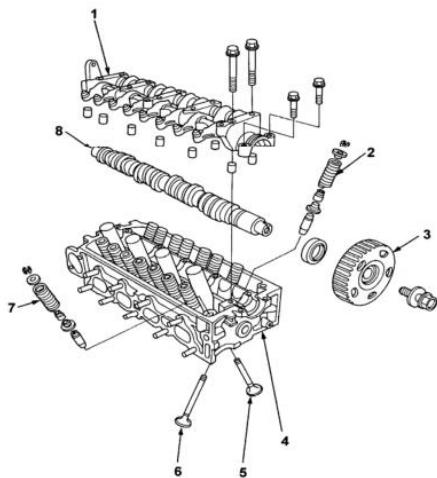


图1 CAD发动机缸盖设计示意图

图1中1为气门摇臂总成，2为进气门弹簧，3为凸轮轴皮带轮，4为缸盖，5为排气门，6为进气门，7为排气门弹簧，8为凸轮轴。

确认发动机缸盖设计结构合理后，再利用CAD软件集成的仿真模块（如ANSYS或Abaqus），对缸盖的热应力、振动特性进行模拟分析。通过仿真分析发现传统设计中冷却通道布局存在热量堆积问题，随即优化结构，将散热效率提升了15%，大幅提升了发动机缸盖的性能。将在CAD软件上设计完成的发动机缸盖模型，导入到PowerMill CAM软件中可自动生成数控机床（如DMG MORI五轴加工中心）的刀路路径，缸盖的复杂曲面加工通过CAM软件生成最优切削路径，减少空切时间30%，有效减少了刀具磨损率，提升了缸盖制造的精度和质量。在CAM软件中录入机床的性能（转速、进给率），以及用于制造缸盖材料的特性，可自动推介钢管制造时的切削参数，再通过仿真加工，就能提前发现潜在碰撞问题，避免机床损坏，提升机械制造的效率。

2.2 柔性制造技术的应用

柔性制造技术是一种由加工中心+数控机床+工业机器人等结构共同组成的机械制造技术，具有生产加工灵活、规模小等特点，非常契合智能制造时代机械制造小型化的要求。在智能制造时代为满足市场发展需求，需要为客户制订新产品，且需尽量缩短制订产品设计和制造的时间，以提升机械产品的市场竞争力。传统机械制造更换产品制造参数、工艺需要投入大量的人力、物力，而采用柔性化制造技术则可以有效解决传统机械制造存在的局限性，提升机械设计的灵活性，降低新产品研发所需的成本和时间^[1]。比如：某机械设计制造企业，主要生产高精密零部件，客户对产品精度、交付周期和多样化需求比较高。传统专线生产模式（如单一品种大批量）无法满足客户需求，且频繁换线导致效率低下、成本上升，为解决这一问题于2021年6月引进了柔性制造系统，结构组成如图2所示：

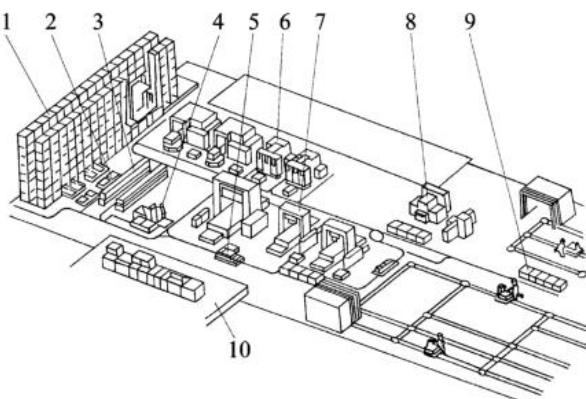


图2 柔性制造系统结构组成示意图

图2中1为自动仓库，2为装卸站，3为托盘站，4

为检验机器人，5为自动运输车，6为卧式加工中心，7为立式加工中心，8为磨床，9为组装交付站，10为计算机控制室。

在实际生产制造中通过工业互联网将不同功能的机床（如铣削、焊接、抛光）连接成虚拟产线，根据订单需求动态调用设备。并设计出标准化接口的智能夹具，更换时间从最开始2h缩短至10min，此种智能化夹具能够有效适应各种高精密零部件生产时对不同型号的曲面结构进行有效夹紧，以免在制造时出现跑偏和位移问题，影响制造精度和质量。为进一步提升高精密零部件制造效率，本企业还利用计算机网络技术构建起工艺知识库，存储不同材料（如钛合金、不锈钢）和产品的加工参数信息。比如：在制造钛合金零部件时可柔性制造系统可自动调用高速切削参数（转速8000 RPM，进给量0.1mm/齿），而在制造不锈钢零件时，则将参数调整为低速高扭矩模式（转速3000 RPM，进给量0.05mm/齿）。为实现对高精密零部件制造全过程精度的有效控制，在制造加工时还需利用激光测量仪实时检测工件尺寸，若偏差超过阈值（如直径误差 $\geq 0.01\text{mm}$ ），系统自动调整刀具补偿值或触发设备维护^[2]。比如：在2022年6月进行水泵轴承孔加工中，检测到刀具磨损导致孔径偏小，系统立即指令更换刀片并补偿偏移量，有效控制了制造误差，产品合格率达到98.6%。

2.3 机器视觉技术的应用

机器视觉技术可通过光学成像、图像处理和人工智能算法，实现对机械制造产品外观、尺寸、表面缺陷等的高精度检测与识别，从而提升机械制造的质量和精度。比如：某机械制造企业主要生产制造汽车零部件，产品精度要求公差 $\leq 0.01\text{mm}$ ，且要满足零缺陷交付。传统人工检测效率低、易漏检，无法满足该企业大规模生产制造的需求。在2021年6月开始引入机器视觉系统，以便实现全流程智能化检测，主要应用在以下几个方面：

(1) 缺陷检测与分类。为实现对汽车零部件表面缺陷检测，采用了多种机器视觉技术，比如：利用Basler ace系列高速工业相机+高分辨率镜头，对发动机缸体表面进行全覆盖成像。同时利用深度学习算法（如卷积神经网络CNN）训练缺陷分类模型，可实现实划痕、气孔、夹渣等缺陷类型的快速识别和区分。自从投入使用机器视觉系统之后，该企业发动机缸体检测缺陷检测效率达到30个/min，传统人工检测只能达到8个/min，漏检率从5%降至0.1%，误检率 $<0.05\%$ 。

(2) 尺寸精度测量。机器视觉系统在汽车零部件制造尺寸精度测量中的应用主要体现在曲轴轴径与键槽尺寸测量。利用激光轮廓扫描仪(如Keyence LK-G系列)获取曲轴三维点云数据后,再通过边缘检测算法提取轴径边缘,计算实际尺寸并与CAD模型公差对比。机器视觉系统可自动标记超差数值,并生成可视化报告(如颜色标注合格/不合格区域)^[3]。投入机器视觉系统之后,零部件尺寸测量精度达到 $\pm 0.005\text{mm}$,远超人工千分尺 $\pm 0.01\text{mm}$,而且每个曲轴的尺寸数据存档,支持客户追溯查询。

(3) 机器人引导与定位。在汽车零部件制造中连杆装配中的螺栓拧紧长期以来都存在费时、费力,投入成本大的问题。为有效解决这一问题,案例企业开始采用机器人来引导和定位螺栓拧紧程度,具体做法为:在机械臂末端安装3D视觉传感器,以便实时扫描连杆孔位和螺栓位置。并通过特征点匹配算法,补偿机械臂定位误差($\pm 0.1\text{mm}$),引导机械臂精准抓取螺栓并完成装配,以确保螺栓拧紧力矩符合标准要求。自动引入机器视觉系统之后,案例机械制造企业栏杆装配的成功率从90%提升至99.8%,有效避免因定位偏差导致的返工,大幅提升了汽车零部件生产质量和客户满意度。

3 智能制造时代机械设计制造及自动化面临的挑战与应对策略

3.1 技术人才短缺及应对策略

智能制造是一种多学科交叉融合的先进制造技术,既需要掌握机械工程基本原理与技能,又需要熟悉电子信息、计算机科学、人工智能等前沿技术的复合型人才^[4]。但就目前我国智能制造发展现状而言,还需智能制造高素质技术人才,且人才培养体系尚不完善,难以满足智能制造快速发展对人才的大量需求。

应对策略:各机械制造企业应加强与高校、科研机构的合作,建立产学研联合培养机制,通过实习实训、项目合作等方式提高学生的实践能力与创新能力。在条件和资金允许的情况下,还需加大人才引进力度,积极吸引海外高层次人才和国内优秀人才加入,以充实企业智能制造技术研发与应用团队,以提升智能制造水平。

3.2 数据安全与隐私问题

智能制造需要进行大量的数据采集、传输、存储与分析,企业生产数据、客户信息通常存储在计算机系统

中,一旦数据安全受到威胁,如遭受黑客攻击、数据泄露等事件,必然会给企业带来严重的经济损失与声誉损害,并侵犯客户隐私,从而引发法律纠纷与社会信任危机,影响机械制造企业长期稳定发展。

应对策略:为保证生产数据和客户隐私数据的安全性,机械制造企业需高度重视数据安全与隐私保护工作,建立健全数据安全管理制度与技术防护体系。在数据采集端,采用加密技术对数据传输进行加密处理,防止数据在传输过程中被窃取或篡改^[5]。而在数据存储端,需要建立安全可靠的数据存储中心,联合应用访问控制、数据备份与恢复等技术手段以确保数据的安全性与完整性。

4 结束语

综上所述,结合理论实践,探讨了智能制造时代机械设计制造及其自动化技术,探讨结果表明,通过在智能制造时代,通过合理应用CAD和CAM技术、柔性制造技术、机器视觉技术等,可促使机械设计制造向着更高效、更精准、更灵活、更可持续的方向发展。但在实际应用中还存在技术人才短缺、数据安全与隐私问题等挑战,通过加强人才培养与引进、强化数据安全保障等应对策略的有效实施,才能有效克服这些挑战,充分发挥智能制造技术的优势,推动机械行业在智能制造时代实现高质量、可持续的发展。

参考文献

- [1] 熊俊. 机械设计制造及其自动化技术在智能制造领域的应用研究[J]. 玩具世界, 2024, (03): 71-73.
- [2] 何平. 智能制造时代机械设计制造及其自动化技术的探讨[J]. 佛山陶瓷, 2023, 33(12): 54-55.
- [3] 张子彪. 智能制造背景下机械设计制造及其自动化技术发展趋势分析[J]. 大众标准化, 2023, (11): 140-142.
- [4] 王丽霞, 唐义玲. 智能制造时代机械设计制造及其自动化技术研究[J]. 中国设备工程, 2023, (04): 33-35.
- [5] 周慧芳. 智能制造时代机械设计制造及其自动化技术研究[J]. 内燃机与配件, 2022, (05): 202-204.

作者简介:秦君民(1978.10-),男,土家族,湖北省宜昌市人,中专,研究方向:技术和销售。