

汽车齿轮绿色智能加工关键技术与装备

□ 重庆机床（集团）有限责任公司/李先广 杨勇 张自凯

成功研制的智能化滚齿机、高速干切机床、自动生产线及数控万能磨齿机等齿轮加工关键装备实现了无切削液绿色环保、高速高效、自动及智能化齿轮加工，提高了齿轮加工质量与精度，降低了生产车间环境污染，缩短了生产周期，为企业节约了生产成本。



随着全球经济持续低迷，乘用车与商用车市场需求量也逐渐处于下滑趋势，需要去库存，提高可靠性、稳定性及舒适性等问题，故车用发动机、变速器、主减速器及差速器对齿轮质量、精度及加工效率提出了更高要求。因此，为了满足乘用车与商用车齿轮的要求，作为

现代装备制造业工作母机的齿轮加工数控机床，不仅需要具备大批量、高速、高效及高精度加工能力，还需开发出绿色化、自动化及智能化功能模块与系统。本文主要针对乘用车与商用车齿轮绿色智能加工装备特点、布局方式及解决方案进行介绍与分析。

汽车齿轮加工特点及方式

1. 汽车齿轮加工特点

目前，汽车齿轮加工特点主要体现在为：一是中、大批量加工，品种相对较少；二是要求加工效率高，单件加工成本低；三是机床稳

定性与可靠性要高， C_{PK} 值高；四是企业生产车间具有环境友好（绿色化）型；五是齿轮加工生产线更换品种快捷方便。基于上述特点，乘用车与商用车的发动机、变速器、主减速器及差速器等关键功能组件对圆柱轴齿轮与盘齿轮、锥齿轮的生产加工（车用齿轮材料与工艺参数见附表），不仅要求齿轮加工质量精度高，加工工艺具有新颖性，而且还对加工机床装备提出了绿色、智能化要求。

2.汽车齿轮加工方式及布局

乘用车与商用车的发动机、变速器、主减速器及差速器齿轮加工方式主要为：一是车削→滚齿（包括高速干切滚齿）→倒棱去毛刺→剃齿；二是车削→滚齿（包括高速干切滚齿）→倒棱去毛刺→热处理→磨齿。

车用齿轮加工生产线布局方式主要有有机群式、U形及线型等几种方式，这类型布局方式均有利于提高批量齿轮加工效率。

汽车齿轮加工智能化解决方案

1.智能化滚齿机

为了实现车用齿轮加工的智能化解决方案，在滚齿智能化加工中需要突破与解决相关的制齿机床及



齿轮自动化加工单元

制齿关键技术，建立相应的智能化支持与服务系统，以提高滚齿机可靠性、自动化与智能化程度，提升齿轮加工效率、质量及精度，降低齿轮加工废品率，缩短生产周期，为用户节约企业生产成本。

(1) 制齿机床及制齿的10大关键技术。

关键技术包括机床多功能网络化智能终端技术，制齿工艺参数智能决策支持技术，机床数控程序智能编制及仿真技术，制齿机床误差智能补偿技术，制齿机床加工过程在线能效监测与节能运行技术，制齿机床运行过程故障监测与远程维

修维护技术，制齿机床加工过程质量信息提取与监控技术，制齿机床刀具、夹具及工件智能管理技术，制齿机床加工过程刀具状态自动检测与换刀优化技术，制齿机床加工过程生产进度信息自动提取技术。

(2) 制齿机床及智能化制齿支持与服务系统的建立。

1) 生产任务管理系统。包括已分配任务查看、新增任务、当前工序详情和历史任务记录等。

2) 制齿机床工艺参数智能决策支持系统。基础数据管理：对滚齿工艺参数优化决策所需基本数据进行集中有效管理，包括滚切次数、滚切速度、滚切深度、齿轮材料、滚刀材料及机床基础等数据。工艺参数优化：包括工艺参数推理决策和工艺参数经验决策两部分。还包括滚刀管理、齿轮管理、历史数据管理、滚齿规则管理等其他功能。

3) 制齿机床数控程序智能编

车用齿轮材料与工艺参数

齿轮类型	乘用车		商用车	
	轴齿系列	盘齿系列	轴齿系列	盘齿系列
材料	20CrMnTi 20CrMo等	20CrMnTi 20CrMo等	20CrMnTi等	20CrMnTi 8620H等
硬度/HB	150~210	150~210	160~197	160~197
模数/mm	1.25~5	1.25~4	3~5	2.5~5.5
直径/mm	30~120	50~200	60~150	80~250



李先广（右）
重庆机床（集团）有限责任公司总经理、教授级高级工程师
重庆大学客座教授
研究方向为数控齿轮加工机床动力学、绿色化、智能化

制系统。滚齿程序编制：具有加工齿轮选型、加工刀具自动匹配、窜刀参数设定、补偿参数设定、切削量参数设定、辅助控制条件设定、NC代码预览、加工路径检查与仿真、数控程序员操作信息记录等功能，数控程序员只需完成简单少量的加工参数设置即可生成工件的NC代码。程序下发：通过智能终端将已生成数控程序下发到滚齿机床，用于齿轮加工。

4) 机床刀具、夹具及工件智能管理系统。主要由编码定义和生成、刀夹具数据管理、刀夹具选配和库存管理几个方面构成。

5) 制齿机床加工过程生产进度信息自动提取系统。主要包括基础设置、进度监控（通过加工启停信号（从PLC获取）、能量信息以

及质量信息多信息融合的方式进行进度采集，并根据指定质检频次进行质检提醒）和历史查询。

6) 机床加工过程质量信息提取与监控系统。具有质量信息采集、质量信息动态显示和历史质量信息查询功能。

7) 机床加工过程能效监测与节能运行系统。包括功率曲线、能量信息、开机后能效信息的获取，以及报警配置。

8) 运行过程故障监测与远程维修维护系统。包括故障信息采

集、故障申报和远程维修维护。

(3) 制齿机床智能化的实现。

在制齿机床智能化关键技术研究，以及相关制齿支持与服务系统建立的基础上，成功实现了滚齿机床的加工智能化，以国内重庆机床为代表的自主研发智能化滚齿机总体上已达到国际先进水平，其智能化主要体现在以下几方面：

1) 机床加工准备的智能化。机床加工前，能实现不确定变化环境中自主规划工艺参数、自动编制加工代码、自动物流、自动匹配工

装夹具、预测制定确定性控制逻辑以实现最佳行为策略能力等准备功能的软硬件设计、制造、测试工作。

2) 机床加工执行的智能化。机床加工时，能实现自主在机检测、自适应加工代码生成、自我优化加工控制策略、自主在线诊断、远程监控等执行功能的软硬件设计、制造、测试工作。

3) 机床维修维护的智能化。机床具有自主故障检测、自主故障修复、人计机（人、计算机、机器）协同智能维修维护、远程智能维护，以及使其具有自学习和共享学习各种知识库能力的软硬件设

计、制造、测试工作。

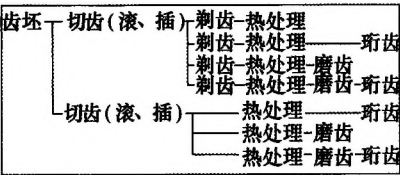
2.智能化自动生产线

为了提高车用大批量齿轮加工效率，研究与开发了多类型汽车齿轮生产装备集成控制技术，建立了自动物流方案；并进行了网络化现场生产管理与监控系统开发，开展了齿轮加工工艺研究等关键技术攻关。对于不同类型车用齿轮其自动生产线系统的集成与连接方式不同，使得自动生产线中桁架、料仓、机械手集成及关节机器人等新技术与自动加工单元功能件（齿轮自动加工单元是由关节机器人、抽检工位、清洁工位（甩水甩油）、在线检测工位及堆栈式料仓等组

成）的应用较为广泛，且自动加工单元与齿轮加工设备进行无缝集成组成了高效、自动化、绿色化及智能化的齿轮加工自动生产线。

(1) 车用齿轮加工自动生产线工艺流程。

1) 汽车变速器齿轮加工自动生产线工艺流程如下图所示。



汽车变速器齿轮加工自动生产线工艺流程

2) 摩托车高速齿轮、汽车发动机齿轮加工自动生产线工艺流程：滚齿（插齿）→热处理→磨齿。

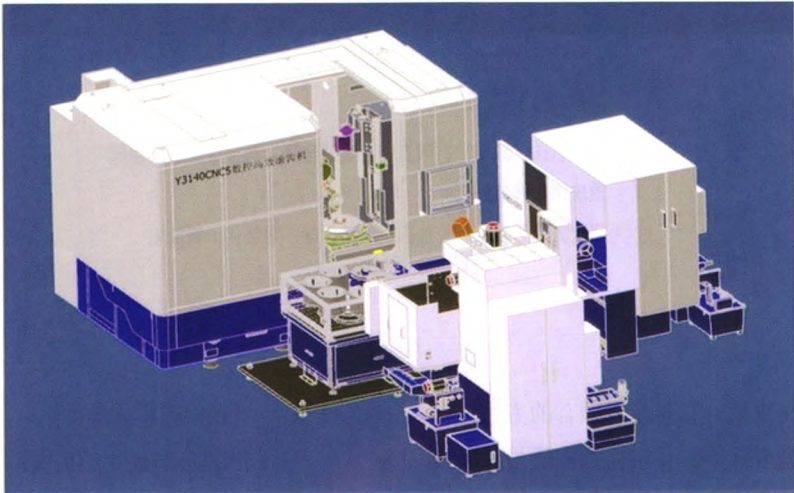
3) 重载货车齿轮加工自动生产线工艺流程：滚齿（插齿）→剃齿→热处理。

4) 大型客车齿轮加工自动生产线工艺流程：滚齿（插齿）→热处理→磨齿。

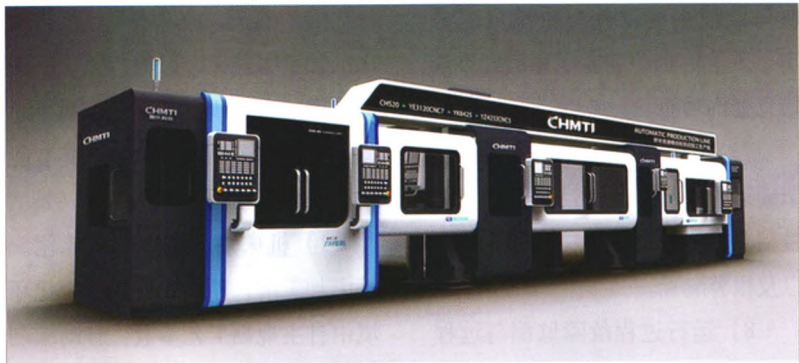
(2) 车用齿轮加工自动生产线组成模块。

车用齿轮加工智能化自动生产线中开发了智能化管理系统，实现了生产线高效、柔性运行；生产线由各种模块与系统组成，主要分为U形智能化自动加工岛与线型智能化自动生产线，能有效提高齿轮加工过程管控能力，实现生产效率、设备利用率和产品质量水平综合提升。

智能化自动生产线模块与系统具备以下功能：生产任务管理与动态生产调度；生产进度信息提取与进度监控；数控编程与工艺参数优化支持；质量信息采集与分析监



U型智能化自动加工岛



线型智能化自动生产线

控;生产线装备运行状态监控;齿轮加工自动生产线与企业信息化系统的网络化集成运行。

实际研发与生产过程中,可根据用户工艺路线,选取上述模块,优化工艺流程,形成贴合用户要求的智能化齿轮加工自动生产线。智能化生产线可实现高速干切滚齿和干切倒棱,杜绝齿轮加工中冷却油污染,绿色环保;还实现了工件自动装夹、工件全自动上下料、工序间自动转换等高效自动化加工,降低了劳动强度,提高了生产效率和可靠性。成功开发的智能化生产线得到产业化推广应用,且整体技术水平达到国际先进水平,填补了国内空白。

通过用户实际使用,与传统生产模式相比,智能化自动线生产模式可有效减少人数,降低成本,提高生产和管理效率,便于实施精益生产。同时,可减少人为因素影响,保证了齿轮加工精度与质量的稳定性。

3. 数控精密高效磨齿机

重庆机床集团与英国PTG公司强强联合,严格按照国内机床标准和欧洲精密机床标准,研发出多功能数控精密高效磨齿机,在结构布局上采用经典立式结构,工作台固定,大立柱移动实现径向进给,各轴独立驱动。并且机床配置自动化上下料装置,4台机床只需一个操作工,大大节约人力成本。并且数控磨齿机床实现了全过程质量控制及机床测试、验证,保证了高品质的机床质量。

数控精密高效磨齿机主要特点如下:

(1) 高品质的机床质量。严格按照国内标准和欧洲精密机床标准进行全过程质量控制及机床测试、验证,保证了高品质机床质量。

(2) 直驱技术应用。砂轮主轴采用电主轴直驱,使砂轮主轴转速可达10 000r/min,工件主轴采用内装主轴电动机定子、转子直驱。

(3) 功能强大的磨削软件。实现人机对话、齿轮计算、齿轮数据库管理及维护、齿轮磨削及砂轮修整程序自动生成、各种磨削方式选择、齿形齿向修形等。

(4) 全自动控制。机床通过控制系统多通道控制平台,实现工件自动装夹、砂轮修整、高速自动对刀、AE自动磨削工艺监控、自动分配磨削余量、自动磨削等整个加工过程全自动控制。

(5) 高生产效率。磨削速度可达80m/s高速及全自动磨削,使生产效率与世界顶级磨齿机相当。

(6) 顶级加工质量。通过刚性极强设计、精度极高制造、严格质量控制,保证了顶级质量磨削。

数控万能磨齿机的全自动智能化控制,操作者只需输入相关参数,机床自动计算并执行。机床各项误差,控制系统可根据传感器的监测信号实时补偿。通过以上描述可知,该系列数控万能磨齿机整机技术性能达到国际先进水平。

结语

通过以上对乘用车与商用车齿轮绿色智能加工装备特点、布局方式及解决方案的介绍与分析,得出结论:

(1) 乘用车与商用车齿轮实

现了无切削液绿色环保、高效、高速干切滚齿加工,提高了齿轮加工效率,消除了油雾污染,减少了生产环境对操作者身心健康的影响。

(2) 汽车齿轮加工装备开发出功能各异智能化模块与系统,成功实现了加工准备、执行及维修维护等方面智能化功能,减轻了机床操作者劳动强度,缩短了加工准备时间,提高了机床加工精度、质量及可靠性,减小了机床维修维护响应时间。

(3) 汽车齿轮加工自动生产线集成了控制、物流、生产现场管理、各种工艺流程及监控等系统与模块,实现了齿轮工件自动装夹、工件全自动上下料、工序间自动转换等高效自动化加工,优化了加工工艺,降低了劳动强度,提高了生产效率和可靠性,减少了加工废品率,节约了生产成本。

(4) 汽车齿轮自动生产线实现了高速干切滚齿和干切倒棱绿色环保加工,消除了齿轮加工中冷却油污染,解决了车用齿轮大批量、高效加工等问题。

(5) 数控万能磨齿机采用直驱技术,提高了砂轮主轴转速与生产效率,而且开发的磨削软件实现了人机对话、齿轮计算、齿轮数据库管理及维护、齿轮磨削及砂轮修整程序自动生成、各种磨削方式选择、齿形齿向修形等智能化功能。

(6) 开发具有全自动控制功能模块与平台的数控万能磨齿机,实现了工件自动装夹、砂轮修整、高速自动对刀、AE自动磨削工艺监控、自动分配磨削余量、自动磨削及实时补偿等加工过程智能化功能。 **AUTO1950**