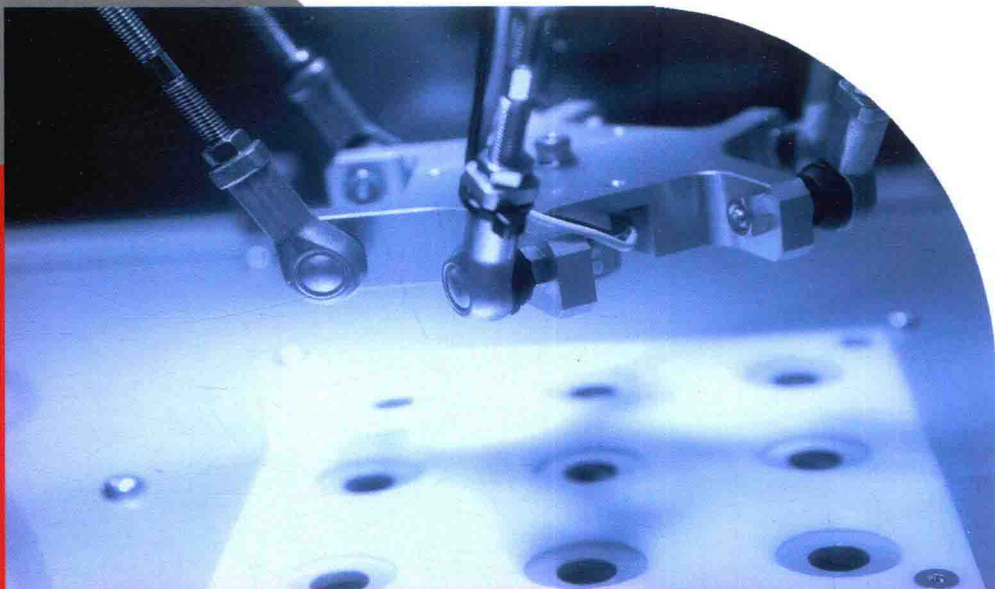




组合机床及自动化加工装备 设计与实践

游楼弼 冯爱新 薛 伟 编著
周 海 仲 秋 宁献刚



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

组合机床及自动化加工装备 设计与实践

游楼弼 冯爱新 薛 伟 编著
周 海 仲 秋 宁献刚



 东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

• 南京 •

图书在版编目(CIP)数据

组合机床及自动化加工装备设计与实践 / 游楼弼等

编著. —南京:东南大学出版社,2017.12

ISBN 978-7-5641-7548-1

I. ①组…… II. ①游… III. ①组合机床-设计 IV.

①TG650.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 318808 号

组合机床及自动化加工装备设计与实践

出版发行 东南大学出版社

出 版 人 江建中

社 址 南京市四牌楼 2 号

邮 编 210096

印 刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 21.75

字 数 523 千字

版 次 2017 年 12 月第 1 版

印 次 2017 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-7548-1

定 价 78.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

序

中华人民共和国自1949年成立后,经过三年的恢复时期,从五十年代初开展了大规模的经济建设,在机械制造工业上,特别是汽车、拖拉机、动力机械、农业机械、工程机械、军工和轻工等行业中的大批量生产企业开始建设,为了提高这些大批量生产企业的生产效率,稳定保证产品质量,引进了高效自动的组合机床技术,并很快地建立了我国自己的组合机床研究设计机构,从事这种高效自动化产品技术的研究开发,建立起我国自己的组合机床通用部件标准,编制了组合机床设计生产的通用标准资料,大力抓了这种高效自动化设备的普及工作,编写组合机床讲义,开办组合机床设计培训班,随之出版了《组合机床设计》和《组合机床的使用和维护》两套书籍,对推广组合机床技术在我国大批量生产企业中的普及使用起到了良好作用。但在60多年的发展中,一直缺少一本组合机床设计使用的基础教材。

江苏恒力组合机床公司原总工程师游楼弼同志,长期从事组合机床的设计、生产和调试的实际工作,生产情况熟悉,设计开发经验丰富,思考深入,他经过多年的艰苦努力,对大量的组合机床设计生产资料进行整理,梳理出脉络,精选典型设计实例完成了本书的原稿;温州大学的两位博士生导师冯爱新教授、薛伟教授以及盐城工学院周海教授,他们多年从事机械制造工艺与装备的教学科研工作,具有扎实的机械制造技术基础和教学经验,对本书内容和章节体系进行了梳理、丰富、调整和完善,共同完成了《组合机床及自动化加工装备设计与实践》一书的正稿。

本书对组合机床及其自动线的组成、特点和优越性作了概述,对组合机床及其自动线的设计程序,设计原理、影响设计主要因素作了详细全面的介绍,本书主题鲜明、结构清晰、材料丰富、语言简洁,本书将成为广大科技人员和青年学生从事组合机床设计开发的良好读本和培训教材。对广大科技人员和青年学生了解和掌握组合机床及其自动线技术,以及设计开发这种高效自动化设备都会起到极好的帮助。

组合机床及其自动线作为公认的高效自动化设备,过去主要是在汽车、拖拉机、动力机械、农机、军工、轻工等传统大批大量生产模式中广泛使用,但随着装备制造技术的发展与科技进步,尤其是新技术的普及,在组合机床行业引进了数控技术、电主轴技术、换刀技术、刀库技术、自动物料输送技术、在线工况检测与控制技术,发展了成系列的数控组合机床通用部件,提高了组合机床及其自动线的柔性化,发展了组合式的柔性制造单元和柔性制造线。现代组合机床也已成为中小批量多品种生产企业提高生产效率、保证产品质量非常有效的手段之一。像转塔式组合机床,自动换箱式组合机床以及用数控组合机床通用部件组成的三坐标加工单元组成的数控组合机床自动线等,都是具有良好柔性,适应多品种生产的高效自动化设备,亦已

成为中小批量多品种生产企业发展生产,提高经济效益的优选设备之一。

历史表明,组合机床及其自动线在我国发展汽车、拖拉机、动力机械、农机、轻工和军工产品中都发挥了良好作用,提高了企业的生产效率和经济效益,组合机床行业已成为机床行业的重要组成部分。路是人走出来的,从继承到超越,从一般到先进,广大组合机床行业科技人员始终刻苦研究,积极开发,使组合机床技术在我国制造业创新发展,转型升级中,加快建设制造强国的征途中发挥更大的作用。《组合机床及自动化加工装备设计与实践》一书的出版也将使更多的组合机床行业和科技工作者以及广大的青年学生更快地掌握组合机床设计技术,共同为组合机床的创新发展做出新的贡献!

原大连组合机床研究所所长
组合机床行业协会会长



2016年11月1日

前言

组合机床及其自动线的研制和推广应用是加速机械工业技术创新的有效途径之一。也是机械工业,特别是汽车、拖拉机、内燃机、电机、机床、仪表、工程机械及军工等生产行业技术改造,促进生产发展的重要设备。

为了学习、交流和推广应用组合机床及其自动线,参阅了许多相关技术资料 and 不少参考文献进行消化吸收,并结合多年工作实践体会,还征求了有关专家们意见,经过整理,完成了《组合机床及自动化加工装备设计与实践》一书的原稿,文章从组合机床基础知识入手,深入浅出,图文并茂,通俗易懂,在此基础上,又和温州大学的两位博士生导师冯爱新教授、薛伟教授以及盐城工学院的周海教授合作,本着“源于理论,回归实践”的理念,按教材的特色和体系,对原稿的章节进行了梳理、丰富、调整和完善,完成了本书的定稿工作,这也是产学研合作的成果,并分别获得了浙江省高校品牌专业建设项目和江苏省高校品牌专业建设项目“机械设计及其自动化 PPZY2015B123”的资助。本书可供广大科技人员、营销人员、工人、干部参考和学习,更适合作为机械类相关专业的大专院校学生学习的辅导教材。但愿能起到抛砖引玉的作用,也为我国组合机床事业不断迎合时代需求而进一步创新发展,使它早日实现为世人公认的现代高端装备制造业的宏伟目标作出自己一点微薄的贡献。同时,也使自己又得到一次再学习的机会。

本书引入了“德国工业 4.0”和“中国制造 2025”新理念,并对柔性制造技术作了详细的介绍,对广大读者加深对组合机床知识理解和向更深层次的思考将起到激励效应,恰到好处。

在这次编写过程中,得到了大连机床集团公司谈武宗高工;组合机床行业协会秘书长刘庆乐高工;东南大学博士生导师汤文成教授;江苏大学博士生导师蔡忆惜教授的热心指导和帮助;江苏恒力组合机床有限公司董事长仲秋高工等一班人为本书的编写工作鼎力相助,还提出了不少建设性建议;江苏大学研究生一拖(洛阳)开创装备公司研究所所长宁献刚高工和盐城工学院省模具智能中心副主任刘军教授级高工,他们分别为本书提供了不少有一定技术含量的素材;江苏高精公司副总工周伯华高工;扬州市组合机床厂厂长杨传希先生、盐城市机械工程学会秘书长刘国民高工等单位的领导、同仁给予大力支持和关心。另外,盐城工学院的徐晓明、徐彤彤、夏斯伟三位老师在本书出版前对本书的原稿进行了整理、修改、编辑,做了大量的具体工作。特别是原大连组合机床研究所所长、组合机床行业协会会长金振华老师为本书写了“序”,并提出了不少宝贵意见,使本书增加了含金量。对以上专家、学者、领导和同仁们的支持和关注,在此一一表示衷心的感谢。

由于本人业务水平有限,尚缺乏广泛的调查研究,所收集的内容还很很不成熟、不完善,甚至还可能存在一些错误,恳请同志们批评指正,不胜感谢。

游楼弼

二〇一六年八月

目 录

第一章 组合机床及其自动线概述	1
1.1 数控技术的发展与自动化加工装备的创新	1
1.1.1 历史背景	1
1.1.2 发展方向	1
1.1.3 行业动态	2
1.2 “德国工业 4.0”和“中国制造 2025”战略规划介绍	3
1.2.1 “德国工业 4.0”计划	3
1.2.2 “中国制造 2025”规划	4
1.2.3 工业 4.0 与数控机床智能化技术	4
1.3 机械加工装备	6
1.3.1 通用机床	6
1.3.2 加工中心(MC)	8
1.3.3 专用机床	9
1.3.4 组合机床及其自动线	9
1.4 组合机床的组成及基本配置形式	10
1.4.1 夹具固定式机床	10
1.4.2 夹具移动式机床	11
1.5 组合机床自动线的组成和分类	13
1.5.1 组合机床自动线的组成	13
1.5.2 组合机床自动线的分类和布局	13
第二章 组合机床设计基础	16
2.1 机械加工工艺规程的制定	16
2.1.1 工艺规程选择的因素和依据	16
2.1.2 制定工艺规程程序和方法	16
2.2 机械加工生产流水线的设计	17
2.2.1 什么是生产流水线	17
2.2.2 生产流水线设计程序和方法	18
2.3 组合机床的工艺范围及能达到的加工精度	19
2.3.1 目前组合机床上常用的工艺方法	19
2.3.2 典型加工工艺方法	26

2.4 组合机床切削用量的确定及刀具选择	32
2.4.1 确定工序间余量	32
2.4.2 选择切削用量	33
2.4.3 确定切削力、切削功率、切削扭矩和刀具耐用度	38
2.4.4 选择刀具结构	39
2.5 组合机床设计步骤	40
2.5.1 准备工作阶段	40
2.5.2 制订方案阶段	40
2.5.3 技术设计阶段	40
2.5.4 结构设计阶段	40
第三章 组合机床总体设计	41
3.1 组合机床方案制订的关键问题	41
3.1.1 制订工艺方案时应考虑的一些问题	41
3.1.2 影响组合机床方案制订的主要因素	47
3.1.3 不同方案技术经济分析的一些主要问题	48
3.2 对组合机床配置形式和结构再探讨	49
3.2.1 单工位机床的特点和适应性以及所能达到的精度	49
3.2.2 采用多工位机床应考虑的一些问题	50
3.2.3 中小批生产用组合机床	51
3.2.4 关于柔性制造技术介绍	61
3.3 “三图一卡”的编制	67
3.3.1 被加工零件工序图	67
3.3.2 加工示意图	69
3.3.3 机床总联系尺寸图(机床总图)	72
3.3.4 生产率计算卡的编制	76
3.4 组合机床编号和分组介绍	78
3.4.1 组合(专用)机床及其自动线型号编列	78
3.4.2 组合机床及其自动线的分组	79
3.4.3 组合机床及其自动线设计参考资料名录表	80
3.5 组合机床通用部件及其选择	81
3.5.1 通用部件类型及其标准	81
3.5.2 常用的通用部件	83
3.5.3 通用部件选用的依据和注意点	98
3.6 专用部件的设计	98
3.6.1 专用床身(立柱)设计应考虑的一些问题	98
3.6.2 关于中间底座设计时的注意点	99

3.7 机床的润滑、防护和冷却	99
3.7.1 机床的润滑	99
3.7.2 机床的防护	100
3.7.3 机床的冷却	100
3.8 机床的控制与互锁	101
3.8.1 机床的控制	101
3.8.2 机床的互锁	101
第四章 主轴箱设计	102
4.1 主轴箱概述	102
4.1.1 主轴箱介绍	102
4.1.2 标准主轴箱主要零件的介绍和选取	103
4.2 主轴箱设计	111
4.2.1 标准(钻、镗类)主轴箱设计程序	111
4.2.2 攻丝主轴箱的设计	120
4.2.3 主轴箱的润滑	122
4.3 专用主轴箱的设计	123
4.3.1 刚性主轴的设计	123
4.3.2 刚性镗削主轴箱的设计	129
4.3.3 铣削主轴箱的设计	132
4.4 主轴箱设计软件平台	137
4.4.1 概述	137
4.4.2 系统的组成	138
4.4.3 原始数据输入	138
4.4.4 传动系统设计	140
4.4.5 数据整理模块	140
4.4.6 生成图形	140
第五章 刀具和工具及量检具	141
5.1 组合机床刀具	141
5.1.1 组合机床刀具的特点	141
5.1.2 组合机床常用刀具介绍	141
5.2 组合机床常用工具	172
5.2.1 接杆	172
5.2.2 卡头	177
5.3 组合机床及其自动线常用的量检具	178
5.3.1 测量工具	178
5.3.2 样件和试件	179

5.3.3 组合机床自动线的检测装置	180
第六章 组合机床夹具设计	184
6.1 概述	184
6.1.1 组合机床夹具的组成和分类	184
6.1.2 组合机床夹具设计的特点和关键	187
6.1.3 组合机床夹具设计程序	187
6.1.4 组合机床夹具设计时应注意的一些问题	188
6.2 常用的定位机构	191
6.2.1 平面定位支承元件及其布置	191
6.2.2 辅助支承	193
6.2.3 圆柱定位元件及其结构	194
6.2.4 其他定位方法及定位机构	198
6.3 典型的夹压机构	201
6.3.1 对夹压机构的一些基本要求	201
6.3.2 典型夹压机构介绍	202
6.4 导向装置介绍和应用	215
6.4.1 导向装置概述	215
6.4.2 第一类导向装置	216
6.4.3 第二类导向装置	221
6.5 活动钻模板和托架	232
6.5.1 概述	232
6.5.2 活动钻模板的典型结构	233
6.5.3 设计活动钻模板应注意的问题	238
6.5.4 托架	239
6.6 攻丝靠模装置	239
6.6.1 在组合机床上攻丝的方法	239
6.6.2 攻丝靠模机构	240
6.6.3 活动攻丝模板	243
第七章 组合机床自动线设计概述	247
7.1 自动线设计程序	247
7.1.1 准备工作阶段	247
7.1.2 制订方案阶段	248
7.2 组合机床自动线的总体设计	259
7.2.1 被加工零件工序图和加工示意图绘制的要求	259
7.2.2 组合机床自动线总联系尺寸图的绘制	259
7.2.3 组合机床自动线循环周期表的绘制	262

第八章 组合机床技术应用设计实例	269
8.1 高效精密平面铣削技术的推广和应用	269
8.1.1 项目的来源	269
8.1.2 项目的技术要求	269
8.1.3 方案的制订	270
8.1.4 机床初验收	271
8.1.5 机床整改意见	272
8.1.6 机床终验收	272
8.1.7 小结	272
8.2 汽车前轴孔系加工工艺的优化	272
8.2.1 目前前轴切削加工工艺现状	273
8.2.2 当前行业中解决的方法	274
8.2.3 工艺推广应用	275
8.2.4 小结	276
8.3 发动机机体汽缸孔精镗组合机床关键技术研发与应用	276
8.3.1 项目介绍	276
8.3.2 小结	278
8.4 专用阀盖槽系加工工艺技术方案的论证	279
8.4.1 项目的提出	279
8.4.2 组合机床方案的制订	280
8.4.3 小结	280
8.5 铁路机车制动缸体组合机床自动线的开发	282
8.5.1 项目介绍	282
8.5.2 自动线方案介绍	282
8.5.3 小结	286
8.6 EA111 汽缸体基准铣钻铰数控专机的研制	287
8.6.1 项目背景	287
8.6.2 EA111 汽缸体加工工艺分析	287
8.6.3 专机总体设计	295
8.6.4 工装夹具设计	301
8.6.5 专机主要部件设计	315
8.6.6 专机数控系统设计	326
8.6.7 小结	332
参考文献	333



第一章

组合机床及其自动线概述

1.1 数控技术的发展与自动化加工装备的创新

组合机床及其自动线作为高效自动化加工装备已被世人认可,伴随着数控技术的日益发展,将不断催生各类自动化加工装备的创新。

1.1.1 历史背景

传统的机械加工手段一直是采用万能(通用)机床一刀一序加工,产量上不去,质量欠稳定。随着汽车、拖拉机、内燃机等大批量生产行业产量不断扩大,精度逐步提高,质量更加严格,于是在大批量生产行业相继出现一种新的机床——专用机床。其实,它起源于二次世界大战军工业的发展,出现了镗铣专用机床,目前欧美国家都叫专用机床,但是,自苏联开始至今俄罗斯、中国等国还叫组合机床。

我国的组合机床事业起步于 1956 年的第一台组合机床和 1961 年的第一条组合机床自动线的相继问世;成长于 70 年代东风“二汽”建设时的组合机床大会战;80 年代后,借助国家将汽车产业定位于国民经济支柱产业的契机,使组合机床产业得到快速的发展;进入 21 世纪以数控技术为代表的新技术高速发展的今天,以及以轿车行业为代表的一大批高端技术行业的崛起,随着这些行业的产品升级换代步伐的加快,加之国外先进装备的进入,这些因素有力地推动和激励了组合机床和自动线的技术进步,所以它再也不能全部像以前那种传统结构和配置形式出现了,已分步进入向数控化、柔性化、高速化、高精度化、高可靠性、智能化和开放式结构的转型升级的提高阶段。

1.1.2 发展方向

(1) 要提高切削速度,必须使主轴转速、进给率、刀具交换等各种关键部件实现高速化,而主轴的高速化就是使主轴变速不必通过变速箱,而是采用一种将电机直接和主轴连成一体后装入主轴部件中的内装式电动机主轴部件结构。并采用以 32 位微处理器为核心的 CNC 系统,如德国西门子 SINUMERIK 840D 系统、日本 FANUC 180/200 系统等。日本新潟铁工所的 V240 立式加工中心配上陶瓷刀具,加工一种钢模具只需要 12~13 min,而普通机床需要 9 h,不少国外机床采用上述系统和结构。减少辅助时间,从而提高生产效率,许多设备铣削速度 $v=1\,500\text{ m/min}$, $s_M=6\,300\text{ mm/min}$, 铣 800 mm 长工件才 7.2 s。组合机床

高速化不仅仅是切削速度,定位速度也很重要。当节拍以秒计算时,缩短辅助时间就非常重要了。

(2) 精度太高的零件,如精镗缸孔,精镗缸孔止口铣端面机床目前国内生产经验不足,且稳定性差,需要再攻关,如一汽无锡柴油机厂从德国进口的一台精镗缸孔止口铣端面机床,主轴为电主轴,线速度为 $1\,500\text{ m/min}$,带温度及刀具自动补偿装置和自动测量装置,镗出的止口深度公差达 $0.005\sim 0.008\text{ mm}$,国产机床一般才达到 0.03 mm 左右,当然它的造价也昂贵,高达 $3\,700$ 万元。山东潍坊柴油机厂的两台奥地利 20 世纪 80 年代生产的缸孔精镗机床至今精度很好,镗出的孔达 H6 左右,表面粗糙度为 $R_a0.4\text{ }\mu\text{m}$ 。南汽依维柯发动机厂从意大利进口的缸盖阀座及导管孔加工机床,其径向圆跳动在 0.01 mm 左右,而国产设备在 0.02 mm 左右。这就要求我们向提高精镗机床自身精度和在线自动测量及自动补偿技术方向去努力,使组合机床逐步向高精度和智能化方向发展。

提高加工精度一般通过减少数控系统的控制误差和采用补偿技术来达到。采用提高数控系统的分辨率使 CNC 控制单位精细化,提高位置检测精度以及位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制方式以达到减少控制系统误差;而补偿技术除了常规的齿隙补偿、丝杠螺距误差补偿和刀具补偿外,对设备热变形误差补偿和空间误差的综合补偿技术已成为研究的热点课题。研究表明,综合误差补偿技术的应用可将加工误差减少 $60\%\sim 80\%$ 。由于计算机运算速度和主轴转速的较大提高,已开发出具有真正的零跟踪误差的现代数控装置,能满足现代数控机床工作的要求,使机床可以同时进行高进给速度和高精度加工。

(3) 发展小型精密多工位回转工作台式机床,这方面北京北方红旗机械厂搞得很好,南京聚星也在紧追不舍,目前这类厂家还不多。

(4) 开发专能机床,为某些行业一定范围内工件,不需要每台按具体的加工对象专门设计,而一次性设计成通用产品,批量生产,用户每次根据具体工件,配上刀具、夹具,就可以组成加工一定范围内零件的专用高效率机床,如组合铣、电机底座镗专机、铣端面打中心孔专机、桥壳镗车专机、轮毂车、阀门、管件行业专用鼓轮机床、连杆成套设备、曲轴专用数控(车)铣床、活塞裙部异形外圆的加工技术及设备等。

(5) 扩大组合机床应用范围,也可以向非切削加工方向发展,如测量、装配、清洗、试验等附机设备。

(6) 数控化是实现组合机床柔性化的手段,适应较小批量多品种加工的柔性制造单元(FMC)、适应中小批量,较多品种加工的柔性制造系统(FMS)以及适应较大批量较少品种加工的柔性制造线(FML)相继问世,这些借助于模块化数控单元构建的组合机床及其自动线,体现了数控机床专用化,组合机床数控化的方向。

1.1.3 行业动态

围绕行业发展方向和规划目标,业内人士采取多种措施,想方设法提升产品档次。

1. 自主开发

大连组合所率先开发成功缸盖气门阀座与导管孔枪铰机床,径向圆跳动达 0.02 mm 以内。被十多家企业采用,他们为一汽大众研制的加工主轴承盖和凸轮轴轴承盖的两条自动



线,大胆采用了夹紧力控制、运输气浮、计算机监控等新技术,效果良好;大连机床厂生产的缸体三轴精镗机床,镗出的孔精度高于 H7,粗糙度 $R_a 0.8 \mu\text{m}$,位置精度 $<0.03 \text{ mm}$,成为多家发动机厂首选设备;一拖(洛阳)开创装备公司利用偏心镗头技术开发出精镗缸孔及止口机床,解决了用户的关键难题;江苏恒力机床公司为一汽无锡柴油机厂生产的精密数控铣床, $v=180 \text{ m/min}$, $s_M=1\,000 \text{ mm/min}$,平面度稳定在 0.03 mm ,粗糙度 $R_a<1.6 \mu\text{m}$,不但满足了用户的要求,还实现了“以铣代磨”的新工艺,为行业攻克了大平面精密、高效铣削技术的难关。

2. 引进国外先进技术

在国内通用部件几经升级的基础上,又引进德国许勒·惠勒公司通用部件技术进行消化、吸收,并实现了国产化。安阳二机床厂开发了 SFER 全系列滑台式铣头和 BEP、GEP 系列液压滑套头;扬州组合机床厂开发出 SEME(SEHY)系列机械(液压)滑台以及多种规格、品种数控滑台、KRS 系列十字滑台和 MTM 多轴转塔式动力头等新产品,不仅为自己生产多种组合机床提供了方便,还为行业厂生产可靠、可调、可变的数控化、柔性化组合机床夯实了基础;例如南汽设备厂利用上述国产化的德国部件成功开发出加工新跃进汽车上的差速器壳体内球面数控镗车组合机床;东风“二汽”引进美国康明斯发动机制造技术为行业攻克了连杆加工技术的难关;上海第一机床厂引进英国克劳斯公司专用数控机床及柔性单元技术,为江铃汽车底盘厂生产了 4 台三坐标加工单元和 2 台柔性加工机床,成功地用于该厂加工差速器壳体和后桥壳体生产线上。

3. 开展国际化合作和交流

通过走出去,请进来的方法,和国际知名企业联合设计和合作生产。大连机床厂和德国赫勒·许勒公司合作为上海大众提供了加工缸体、缸盖两条自动线,又与德国洪斯贝尔格公司合作为一汽大众提供了加工变速箱和离合器壳体两条自动线;一汽专机厂与德国爱克斯塞罗公司合作为一汽大众提供了缸体加工自动线。通过合作使设计人员不仅学到了许多新技术,更重要的是使设计思维和观念发生了变化,在新技术应用上有了新的突破,同时也促进了国内合作企业的产品、管理水平上了一个新台阶。

1.2 “德国工业 4.0”和“中国制造 2025”战略计划介绍

当今世界科学技术快速发展势头强劲,随着新一轮科技革命和产业变革大潮的到来,德国率先提出了工业 4.0,即第四次工业革命的高科技战略计划,旨在提升制造业的智能化水平,建立具有适应性,资源效率及人因工程学智慧工厂,在商业流程及价值流程中整合客户及商业伙伴。其技术基础是网络实体及物联网。

1.2.1 “德国工业 4.0”计划

工业 4.0 计划主要分为三大主题:

一是“智能工厂”,重点研究智能化生产系统及过程,以及网络化分布式生产设施的实现;



二是“智能生产”，主要涉及整个企业的生产、物流管理、人机互动以及 3D 技术在工业生产过程中的应用等。该计划特别注重吸引中小企业参与，力图使中小企业成为新一代智能化生产技术的使用者和受益者，同时也成为先进工业生产技术的创造者和供应者；

三是“智能物流”，主要是通过互联网、物联网、物流网，整合物流资源，充分发挥现有物流资源供应方的效率，而需求方则能够快速获得服务匹配，得到物流支持。

工业 4.0 计划的推出，将加快社会从第三次工业革命的电子化时代向第四次工业革命应用物理信息融合系统(CPS)的智能化时代的推进步伐。

中德双方签署的《中德合作行动纲要》，标志着工业 4.0 已进入中德实质性合作的新时代，对于未来的中德经济发展具有重大意义。

1.2.2 “中国制造 2025”规划

中国政府在 2015 年第十二届全国人大第三次会议上郑重提出要实施“中国制造 2025”宏伟规划，这是立足我国转变经济发展方式实际需要，围绕创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展、以人为本的理念，通过努力，争取到 2025 年使我国从制造大国迈入制造强国的行列。

“中国制造 2025”应对新一轮科技革命和产业革命，这场变革是信息技术与制造业的深度融合，是以制造业数字化、网络化、智能化为核心，建立在物联网和务(服务)联网的基础上，同时叠加新能源、新材料等方面的突破而引发的新一轮变革，将给世界范围内的制造业带来深刻影响。“德国工业 4.0”和“中国制造 2025”的核心是“智能化”。

“中国制造 2025”重点发展的十大领域，高端数控机床和机器人列在其中，而组合机床是一种高效自动化设备，随着数控技术的逐步渗透，组合机床正朝着数控化、柔性化、智能化方向的高端装备方向发展。

这一轮新的变革恰与中国进行调结构、补短板加快转变经济发展方式，建设制造强国形成历史性交汇，这对中国包括我们组合机床行业在内的制造业是极大的挑战，同时也是极大的机遇。

1.2.3 工业 4.0 与数控机床智能化技术

1. 智能化数控机床

智能化数控机床是对制造过程能够自己做出决定的数控机床，其可以计算出所使用的切削刀具、主轴、轴承和导轨等的剩余寿命，让使用者清楚其剩余使用时间和替换时间。此外，可以了解制造的整个过程，能够对自己进行监控、诊断和修正在生产过程中出现的各类偏差，可自行分析机床状态、加工状态、环境有关的信息及其他因素，并且能为生产的最优化提供方案，然后自行采取应对措施来保证最优化的加工。

2. 智能化数控机床的特征

- (1) 知晓自身的加工能力/条件，并且能与操作人员交流，共享这些信息；
- (2) 能够自动监测和优化自身的运行状况；
- (3) 可以评定产品/输出的质量；
- (4) 具备自学习与提高的能力；



(5) 符合通用的标准,机器之间能够无障碍地进行交流。

与普通数控机床的主要区别:智能机床除了具有数控加工功能外,还具有感知、推理、决策及学习等智能功能。

3. 数控机床智能化技术

根据“工业 4.0”的思路,就是运用人工智能、云计算、大数据与数控机床结合起来,创造出云数控系统、大数据采集,实现产品设计、制造过程和企业管理及服务的智能化,是信息技术与制造技术的深融合与集成,建立起数控机床 CPS 系统。

1) 加工智能化

加工智能化指在整个加工过程中,数控机床追求的加工效率和加工质量方面的智能化。

(1) 虚拟机床加工技术

即采用与实际机床完全相同的虚拟机床(又称软件机床)对零件进行模拟加工。

(2) 数控系统集成的加工智能技术

数控系统具有提高机械加工时加工质量和生产效率的功能。通过全新的运动控制方法,可以计算出最佳表面过渡,保证刀具的移动速度始终处在最佳的范围内。

(3) 自动上下料技术

数控设备与自动上、下料技术相结合,不仅能够极大地节省人工成本,更重要的是能够保证自动加工的顺利进行,保持产品加工的一致性,提高工效。

(4) 3D 防干涉技术

在复合加工机、五面体加工中心、五轴联动机床的操作、加工中,因机床结构复杂、切削加工路径繁复等原因,工具、刀具与被加工件及机床易发生碰撞,威胁加工设备及操作人员的安全。对于这些问题,必须依赖数控机床的 3D 防干涉功能。

(5) 切削参数在线优化技术

切削参数在线优化主要是基于自适应控制技术来实现,自适应控制技术与金属加工专家系统结合起来,通过传感器实时读取正在运行的载荷值,实时计算出最佳进给速率,并自动将机床运行的进给速率调到最佳值,在超载的情况下,自动使机床停机,从而大大提高了生产效率,防止刀具、机床和工件受损。

2) 数控机床的管理智能化

数控机床的管理智能化是指数控机床在生产过程控制中,工、夹具管理等方面中的智能化。

(1) 刀具管理技术

通过刀具管理系统可知晓刀具数量、几何尺寸、在刀库中的位置;能根据刀具的加工时间或加工件数进行刀具使用寿命监控等。

(2) 数控机床的联网技术

数控机床的联网是指机床通过所配装的数控系统与外部的其他控制系统或计算机进行网络连接和网络控制。



(3) 生产状态的智能管理技术

可随时掌握数控机床的生产、使用状况;详细准确地记载机床的运转状况,管理者在办公室或家中甚至在外地也可以通过 Intranet 或 Internet 来全面了解机床近期(一天或一周内)的生产状况(从零件加工的数量、种类到机床主轴的负载情况),为管理者提供了极大的方便。

3) 智能化维护、监控技术

(1) 智能刀具监控技术

在数控加工中实时获得刀具的状态信息(工作正常或磨损、破损)对保证加工质量和提高生产效率至关重要。智能刀具监控技术的核心在于能将刀具使用过程中的信息与数控机床的控制系统进行相互交流。

(2) 主轴振动的监控、抑制技术

切削振动是影响机械产品加工质量和机床切削效率的关键因素之一,同时也是自动化生产的严重障碍,因而必须对加工过程中主轴的振动进行实时监控和调整。

(3) 智能化故障诊断技术

数控机床故障诊断技术对于提高机床运行的可靠性具有重大意义。目前,数控机床故障诊断技术的发展主要集中在智能化故障诊断系统的开发和通信诊断(亦称“远程诊断”)的完善上。

4) 数控机床操作、编程的智能化

数控机床操作、编程的智能化是指数控系统能提供直观且省时的编程和操作功能。数控编程系统的发展方向是 CAD/CAPP/CAM(计算机辅助设计/计算机辅助工艺设计/计算机辅助制造)三者的集成。可以使编程时选择加工对象,确定约束条件,选择刀具、切削工艺参数等操作不必由人工完成,而直接从 CAPP 数据库获得,降低了对数控编程系统使用者的工程素质、工程实践经验的要求,避免了绝大部分的编程错误,提高了编程的准确性和效率。

1.3 机械加工装备

1.3.1 通用机床

1. 定义

专门用于加工一种(或多种)零件上的一道(或多道)工序进行单刀切削的一种标准化、系列化、通用化设备。

2. 分类

通用机床共分 12 种门类,用大写的汉语拼音字母表示机床的类别代号,也是机床型号中的第一位代号。汉语拼音字母一律按机床名称读音。例如车床为 C、钻床为 Z。机床类别及其代号如表 1-1 所示。