

徐 州 工 程 学 院

本 科 生 毕 业 设 计

姓 名：谢陈健 学 号：20030601130

系 部：机电工程系

专 业：机械设计制造及其自动化

设计题目：小型加工中心刀具库系统设计

专 题：小型加工中心刀具库系统设计

指导教师：韩翔 职 称：讲师

2007 年 5 月 徐州

徐州工程学院毕业设计任务书

学院 机电工程系 专业年级 机械设计制造及其自动化
学生姓名 谢陈健

任务下达日期：2006 年 1 月 26 日

毕业设计日期：2006 年 1 月 26 日 至 2007 年 6 月 10 日

毕业设计题目：小型加工中心刀具库系统设计

毕业设计专题题目：小型加工中心刀具库系统设计

毕业设计主要内容和要求：最大刀具直径为 40 mm，刀间距 150 mm，刀具平均质量 1 kg，刀具库的容量 8 把刀具。

1. 刀盘部件设计（含刀盘，夹块，刀爪设计）
2. 刀库转动定位机构及零件（含转臂，槽轮，滚子，锁止盘零件设计）
3. 刀具库总装部件及零件图（含轴承套，轴，箱盖，箱体零件设计）
- 4 刀库移动部分设计（含横梁，导轨等零件设计）
5. 说明书（20000 以上）及外文翻译

系主任签字：

指导教师签字：

徐州工程学院毕业设计指导教师评阅书

指导教师评语（①基础理论及基本技能的掌握；②独立解决实际问题的能力；③研究内容的理论依据和技术方法；④取得的主要成果及创新点；⑤工作态度及工作量；⑥总体评价及建议成绩；⑦存在问题；⑧是否同意答辩等）：

成绩：

指导教师签字：

年 月 日

徐州工程学院毕业设计评阅教师评阅书

评阅教师评语（①选题的意义；②基础理论及基本技能的掌握；③综合运用所学知识解决实际问题的能力；④工作量的大小；⑤取得的主要成果及创新点；⑥写作的规范程度；⑦总体评价及建议成绩；⑧存在问题；⑨是否同意答辩等）：

成绩：

评阅教师签字：

年 月 日

徐州工程学院毕业设计评阅教师评阅书

评阅教师评语（①选题的意义；②基础理论及基本技能的掌握；③综合运用所学知识解决实际问题的能力；④工作量的大小；⑤取得的主要成果及创新点；⑥写作的规范程度；⑦总体评价及建议成绩；⑧存在问题；⑨是否同意答辩等）：

成绩：

评阅教师签字：

年 月 日

摘 要

随着数控技术的发展和普及，加工中心的作用越发突显它的重要性。为进一步提高数控机床的加工效率，数控机床正向着工件在一台机床一次装夹即可完成多道工序或全部工序加工的方向发展，因此出现了各种类型的加工中心机床，如车削中心、镗铣加工中心、钻削中心等等。这类多工序加工的数控机床在加工过程中要使用多种刀具，因此必须有自动换刀装置，也就是所说的刀库，以便选用不同刀具，完成不同工序的加工工艺。自动换刀装置应当具备换刀时间短、刀具重复定位精度高、足够的刀具储备量、占地面积小、安全可靠等特性。

本论文是开发设计出一种体积小、结构紧凑、价格较低、生产周期短的小型立式加工中心刀库本文。首先介绍了国内外加工中心研究现状及发展趋势，阐明了本课题研究的目的、意义。然后进一步介绍本小型加工中心刀库总体结构和各部件方案的选择，并在此基础上进行了小型加工中心刀库的机械结构的设计计算，主要包括刀盘部件设计（含刀盘，夹块，刀爪），刀库转动定位机构设计（含转臂，槽轮，滚子，锁止盘），刀库总体机构设计（含轴承套，轴，箱盖，箱体）刀库移动部分设计。

关键词：数控系统 加工中心 刀库 机械手

ABSTRACT

Along with the numerical control technology development and the popularization, the processing center function reveals its importance even more suddenly. For further enhances the numerical control engine laths the processing efficiency, the numerical control engine laths is clamping to the work piece in an engine laths attire then completes the multi-channel working procedure or the complete working procedure processing direction develops, therefore appeared each kind of type processing center engine laths, like the turning center, the boring mill processing center, drills truncates center and so on. This kind of working procedure processing numerical control engine laths must use many kinds of cutting tools in the processing process, therefore must have trades the knife installment automatically, also is the knife storehouse which said, in order to select the different cutting tool, completes the different working procedure the processing craft. Trades the knife equipment to have automatically to have trades the knife time short, the cutting tool repetition pointing accuracy high, the enough cutting tool margin, the area small, safe reliable and so on the characteristics.

The present paper is the development designs one kind of volume slightly, the structure compact, the price is low, production cycle short small vertical processing center knife storehouse this article. First introduced the domestic and foreign processing center research present situation and the trend of development, have expounded this topic research goal, the significance. Then further introduced this small processing center knife storehouse overall structure and various parts plan choice, and has carried on the small processing center knife storehouse mechanism design calculation in this foundation, mainly includes the knife storehouse overall organization design, the electrical machinery selection, the knife storehouse rotation detent mechanism design knife storehouse migration part design and so on.

Keywords: numerically controlled lathe; machining centers ; cut database ;
mechanical hand

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 国内外的研究现状和发展趋势	1
1.1.1 当前世界 NC 机床的研究现	1
1.1.2 我国数控机床产业的发展状况	2
1.1.3 加工中心的发展动向	6
1.1.4 我国数控机床研究存在的问题	9
1.2 加工中心概论	9
1.2.1 自动换刀系统产品化的意义和前景	13
1.3 本论文研究的目的和意义	15
1.4 本论文完成的主要工作	15
第 2 章 总体方案的设计	16
2.1 运动方案的设计	16
2.1.1 运动数目的确定	16
2.1.2 运动方案的确定	16
2.2 功能部件的设计方案	17
2.2.2 进给伺服系统	19
2.2.3 自动换刀系统	21
2.2.4 基础部件	23
2.2.5 数控系统	24
2.2.6 辅助装置	24
2.3 总体布局	24

2.4 主要技术参数.....	24
2.5 小结.....	25
第 3 章 刀库的设计	26
3.1 刀库的结构设计	26
3.1.1 刀库主要参数的确定	26
3.1.2 刀盘部分的设计	26
3.1.3 刀库转动定位机构的设计.....	26
3.1.4 轴的设计	29
3.1.5 滚动轴承的选择计算	32
3.1.6 键的选用与计算	33
3.1.4 刀库的支承部分的设计	33
3.2 刀库移动部分的设计	34
3.2.1 刀库支承横梁和导轨的设计	34
3.2.2 刀库移动丝杠和电机的选择	35
3.3 刀库、横梁的安装	35
3.4 小结	35
结 论	36
致 谢	37
参考文献	38
翻译部分	39
The Numerical Control Lathes	39
数控机床	50

第 1 章 绪 论

随着科学技术的发展，世界先进制造技术的兴起和成熟，而对作为现代制造业非常重要的加工中心提出了更高的要求，超高速切削、超精密加工等技术的应用，对加工中心的组成部分提出了更高的性能指标。

加工中心是一种综合加工能力较强的数控加工设备，工件一次装夹后能完成较多的加工工序，加工精度较高，就中等加工难度的批量工件，其效率是普通设备的 5~10 倍，特别是它能完成许多普通设备不能一次完成的加工。加工中心对形状较复杂，精度要求高的单件加工或中小批量多品种生产更为合适，特别是对于必需采用工装和专用设备来保证产品质量和效率的工件，采用加工中心加工，可以省去工装和专机。这为新产品的研制和改型换代节省大量的时间和费用，从而使企业具有较强的竞争力。然而目前国内外加工中心的生产厂家设计生产的加工中心大多是大、中型零件的加工。

加工中心有多种形式，常见的有盘式、链式两种刀库。

盘式结构中，刀具可以沿着主轴的轴向、径向、斜向按放，刀具轴向的安装的结构最为紧密，但为了换到时与主轴同向，有的刀具库中刀具需要在换刀位作 90 度翻转。在刀库容量较大时，为在存放方便的同时保持结构紧凑，可采用弹仓式结构，目前大量的刀库安装在机车立柱的顶面或侧面，在刀库较大时，也有安装在专门的地基上，以隔离刀库转动造成的震动。

链式刀库存放刀具容量比盘式大，设计题目刀具较多，为 32 把刀，所以特选用链式刀库设计。链式刀库结构比较灵活，可以采用加长链带方式加大刀库容量，也可以采用链带折叠回绕的方式提高空间利用率，在需要刀具容量较大时，还可以采用多链带结构。

1.1 国内外的研究现状和发展趋势

1.1.1 当前世界 NC 机床的研究现

世界各国对数控机床、加工中心以至 FMS、CIMS 等各种新技术的研究与发展进程，是与世界经济形势紧密相连的。机床工业与世界经济相互促进和发展，进入 21 世纪知识经济时代，人们的知识所起的作用更加突出，而机床工业作为机器制造业的基础，其重点地位与战略意义更加明显。在 1991-1994 年间，世界经济衰退，昂贵的 FMS，CIMS 降温，1995-2000 年间，世界经济在低速增长，根据当前世界市场各方面用户为提高生产率对 NC 机床的需求以及世界四大国际机床展（欧洲的 EMO、美国的 IMTS、日本的 JIMTOF、中国的 CIMT）上产品分析，当前世界 NC 机床的技术研究主要有以下几点：

1. 更加重视新技术和创新

在世界范围内，对新工艺、新材料、新结构、新单元、新元件的研究开发工作正在大力发展，如新的刀具材料、新的主轴结构、高速电主轴、高速直线电机等的开发研究。以加工工艺的改进创新为基础，为加工超硬、难切削材料及特殊符合材料及复杂零件、不规

则曲面等在不断研究开发新机种。

2. 提高机床加工的精度研究

为了提高加工中心的加工精度，不断提高机床的刚度、减少振动，消除热变形，降低噪声，提高 NC 机床的定位精度、重复精度、工作可靠性、稳定性、精度保持性，世界很多国家都在进行机床热误差、机床运动及负载变形误差的软件补偿技术研究，并采取精度补偿、软件补偿等措施加以改善，有的已可使此类误差消除 60%。并在不断开发精细加工，纳米加工。

3. 提高机床加工生产率的研究

世界 NC 机床、加工中心及相应的高速电主轴、直线电机、测量系统、刀具系统、NC 系统的开发，均以提高生产率为前提。

4. 许多国家都已经开始对数控系统的智能化、开放化、网络化研究

1) 数控系统的智能化的研究

主要表现在：为追求加工效率和加工质量的智能化，对加工过程的自适应控制，工艺参数自动生成进行研究；为提高驱动性能及使用连接方便的智能化，对反馈控制、电机参数的自适应运算、自动识别负载自动选定模型、自整定等进行研究；还有智能化的自动编程、智能化的人机界面、智能诊断、智能监控等方面的研究。

2) 数控系统开放化研究

主要表现在：数控系统的开发在统一的运行平台上，面向机床厂家和最终用户，通过改变、增加或剪裁结构对象（数控对象），形成系列化，并可方便地将用户的特殊应用和技术诀窍集成到控制系统中，快速实现不同品种、不同档次的开放式数控系统，形成具有鲜明个性的名牌产品。目前开放式数控系统的体系结构规范、通行规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库以及数控系统功能软件开发工具等是当前研究的核心。

3) 控装备的网络化研究

数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求，也是实现新的制造模式如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。

1.1.2 我国数控机床产业的发展状况

我国数控机床工业起步较早，北京机床研究所于 1973 年研制了卧式加工中心 JCS013。1980 年北京机床研究所引进了日本 FANUC 公司的数控系统制造技术，并投入批量生产。国家“六五”和“七五”规划期间，我国大力发展加工中心，帮助部分骨干企业与国外厂商进行合作，引进了加工中心的制造技术。“八五”期间科技攻关开发自主知识产权数控系统两个阶段，已为数控机床的产业化奠定了良好的基础，并取得了长足的进步。“九五”期间数控机床发展已进入了实现产业化阶段。

1. 部分产品已达到国外同类产品水平

具备了自行开发各种各样专用机床和特殊功能机床系统的能力。数控机床新开发品种 300 个，已有一定的覆盖面。新开发的国产数控机床大部分达到国际 20 世纪 90 年代水平，

为国家重点建设提供了一批高水平数控机床。

2. 数控机床在技术上取得了一定的进步

进入了高速高精度精密数控机床生产国行列。高速主轴制造技术可达 12000~18000r/min, 快速进给可达 60m/min, 快速换刀可达 1.5s, 可以生产定位精度达 3 μ m 的立式加工中心、主轴回转精度达 8 μ m 的卧式加工中心和精度为 2 μ m 的车削中心等^[2]。

3. 多轴联动数控技术更加成熟

0.1 μ m 当量的超精密数控系统、数控仿形系统、非圆齿轮加工系统、高速进给数控系统、实时多任务操作系统都已研制成功。尤其是基于 PC 机的开放式智能化数控系统, 可实施多轴控制, 具备联网进线等功能。这些数控系统的研制成功使得多坐标联动技术已不再是难题, 且逐渐成熟。

4. 大部分数控机床配套产品已能国内生产

我国数控机床生产厂共有 100 多家, 数控系统 (包括主轴和进给驱动单元) 生产企业约 50 家, 生产数控机床配套产品的企业共计 300 余家, 产品品种包括八大类 2000 种以上。数控机床自我配套率超过 60%。

5. 在网络化、集成化、柔性化数控制造成套设备技术上也有了新突破

网络化、集成化、柔性化数控制制造装备可实现在多台机床连成的局域网上实现集成、资源共享、实时图象监视和管理, 服务器上实现加工对象的实体造型并将刀具路径文件和加工程序自动化送至各数控机床。

总之, 随着科学技术的进一步发展, 市场经济活动的不断深入, 中国在加入 WTO 参与世界市场激烈竞争中, 无论是国内市场、国际市场, 对 NC 机床的需求将日益增多, NC 机床的发展前景非常广阔。中国机床工业能否振兴、NC 机床技术能否迅速提高、产量能否迅速扩大, 关键在于中国是否有此实力。

我国 NC 机床发展过程及现状美国于 1952 年应飞机生产的需求, 在世界上首先研制出第一台 NC 机床, 并立即生产 100 台。中国与日本于 1958 年同年研制出首台 NC 机床。我国于 1958~1960、1962~1965、1973~1978 年曾先后三次在全国掀起 NC 机床的研制、生产、攻关高潮, 但由于缺乏技术基础, 机床车体设计实力差、各种机、电、液、气配套基础元部件、NC 系统不过关, 工作不可靠, 故障频繁, 且由于发展 NC 机床整个方针、政策、方法、步骤、措施错误, 形成一哄而上, 又一哄而下, 三起三落。到 1979 年为止, 我国 NC 机床无法正式生产, 也无法在生产中正式使用。

在此 20 年中, 可称之为在沙滩上建大厦阶段, 交了许多学费, 做了不少虚功, 浪费了无数人力、物力、财力, 教训至为深刻。而日本在此阶段, 规划周密、科学行事、步子扎实, 在努力发展大量大批生产自动化、高效自动化机床、自动线的基础上, 确实使主机设计本领过硬, 配套元部件、NC 系统过关, 不断发展 NC 机床, 至 1979 年日本 NC 系统年产量达 14, 235 套, NC 机床年产量达 14, 317 台, 超过了美国的当年产量 7, 925 台, 从此年起, 日本 NC 机床之年产量长期居世界第一。

我国从 1980 年起, 先后引进了日、德、美、西班牙的 NC 系统, 各种 NC 机床, 各类

机、电、液、气基础元部件等进行生产，由此改变了过去产品质量、可靠性问题，NC 机床才逐步开始批量生产并正式用于生产制造。

在 1980~2000 年 20 年间，我国 NC 机床在品种上、技术上、产量上提高较快，取得了较大的成绩。1980 年我国 NC 机床产量 692 台，至 1999 年，产量达 9,007 台，2000 年超万台。在品种上，各类 NC 全切机床、成形机床、激光加工机床等均能生产，也较齐全，在设计、制造技术上也有了很大提高。许多国产 NC 机床，已在广大用户生产现场使用，有的取得了用户的好评。但是，由于主机设计本领不过硬，许多 NC 机床，特别是较先进的高性能机床，基本上是与国外合作的产品。许多关键配套基础元部件、重要 NC 系统，仍采用国外进口产品，目前中国生产的 NC 机床，约 70% 配用日、德、美、西班牙进口 NC 系统，在改革开放 20 年间，我国 NC 机床的发展，可称之为撑着拐杖走路。各种先进技术，由于缺乏系统深入研究、消化、创新，由于技术人员、技术工人素质较低，缺乏各方面人才，NC 机床基本上处于仿制阶段。可以明确地指出：由于缺乏正确的发展方针、政策、方法、步骤、措施，

我国 NC 机床的整个发展过程，道路是漫长的，与日本相比，可说是在缓步前进。我国 NC 机床的现状，可用下面 3 句话来描述：“进步很大，问题不少；拥有量较多，但利用率不高；产量较少，高性能产品缺乏。”据 1995 年全国调查，我国机床拥有量 383 万台，其中 NC 机床 7.28 万台。虽然机床总拥有量数字很大，居世界第一，但普遍性能落后、结构陈旧，NC 机床所占比重不大。但在 1996~1999 年间，每年用户购买约 1.7 万台，共计约 7 万台，2000 年我国 NC 机床拥有量约为 14 万台，平均利用率约为 40%。而日本的 NC 机床利用率约在 80% 以上，1987 年机床拥有量（全切和成形）79 万台，NC 机床 7 万台，汽车产量达 1,225 万辆。1994 年日本机床拥有量 100 万台，NC 机床拥有量 16 万台，目前中国 NC 机床的拥有量，已接近日本 1994 年数字。中国 1999 年 NC 机床产量为 9,007 台，1997 年日本为 56,113 台（1/2 以上出口），德国为 22,960 台，美国为 17,414 台，相比之下，中国 NC 机床年产量较少，需大量进口。1999 年进口 NC 机床 11,489 台，出口 1,365 台，消费量（产量+进口量-出口量）为 19,131 台。

我国 NC 机床发展中存在的主要问题我国在发展 NC 机床中存在的主要问题，归纳起来，主要有以下八点：

（1）长期以来从上到下，严重缺乏实事求是的科学精神，盲目性大。不懂得 NC 机床本身的技术特点、发展规律，在战略上藐视，在战术上亦藐视。表现在前 20 年之间的是全国搞 NC 机床，往往一哄而上，遇到困难，束手无策，又一哄而下。在后 20 年，大量引进国外先进技术、合作生产，但缺乏认真试验、消化、创新，按样仿制，知其然不知其所以然。小有改进，即以为是创新。

（2）缺乏近/远期正确、全面的机床工业发展方针、政策、方法、步骤、措施，更没有上下结合、针对国情、认真去制订整个机床、工具以及 NC 机床发展的规划，偶尔有一些，也只是少数几个人拍脑袋写出的表面文章，结果也是置之高阁，无法贯彻。

（3）机床行业人员素质低，缺乏各方面人才，尤其缺乏政策。不懂 NC 机床特点、发

展规律，抓不到主要矛盾。许多企业缺乏独立作战、开发各种优质适销先进新产品能力，呈“松散”、“无序”、“虚胖子”、“低效运行”状态。

(4) 长期以来，缺乏系统深入的科研工作，更没有踏踏实实的先进样机对比试验，缺乏各种技术资料积累，设计方法陈旧，仅靠类比模仿进行产品设计，既缺乏机床创新的基本理论，又缺乏丰富的生产实际经验，对高效自动化机床、NC 机床的刚度、振动、热变形、噪声、精度补偿等基础技术缺乏深入研究，对各类机床加工工艺、布局、结构、导轨、主轴、卡具等应用技术又缺乏认真试验，难以创新设计出优质适销的先进产品。

(5) 对原有的七大综合机床研究所，没有充分利用、不能充分发挥其“参谋、攻坚、组织、服务”四大作用，1999 年下放地方、公司或进出口单位，等同于企业失去了机床工业和 NC 机床发展的教练。目前，各个研究单位、企业均忙于生存，普遍缺乏深入系统的科研工作，更没有做到生产一代、研制一代、预研一代。因此，总体来说，新产品发展缓慢，更难以研制出优质适销的先进产品。

(6) 我国整个机床工业，由于没有在全国范围内发展大量大批生产自动化，对高效自动化机床的主机设计的基本功较差，而机床的品种结构发展，全靠主机设计本领加以变化，因此，在改革开放中，依靠引进和合作生产来发展各类主机，至今我国许多高性能、新结构的 NC 机床大都为合作产品，基本处于仿制阶段。

(7) 到目前为止，虽已引进合作生产了许多机、电、液、气基础元部件、NC 系统，但没有彻底过关，在质量、可靠性上没有充分保证，仍采用许多进口关键元部件，NC 系统配套的问题仍未解决。

(8) 长期以来，人员素质不高，而且目前各研究单位、企业、人才流失严重，科研、设计力量十分虚弱，无法与先进工业国家进行对比竞争，这是当前中国机床工业、NC 机床发展中十分关键的问题。

国内、外对 NC 机床的市场需求世界各国人员素质、工业文化、技术水平不同，对 NC 机床的需求也不一样。总的来说，发达国家对中、高档机床需求多，发展中国家对低、中档需求较多并需要少量的高档机床。

目前，发达国家与发展中国家机床拥有量、年产量中，低（普遍机床）、中（高效自动化机床）、高档机床（NC 机床）之比例不同，发达国家机床拥有量、年产量中，低、中、高档机床之比分别为：20：70：10 和 5：65：30，而发展中国家分别约为：80：17：3 和 70：25：5，因此两者之间的生产率、劳动生产率相差悬殊。发展中国家要经过认真切实努力、提高人员素质、工业文化、技术水平，才能达到发达国家的程度。同时需要在发展机器制造业以至整个工业中有正确的方针、政策、方法、步骤、措施，如同日本那样，由落后赶上先进，并且能够后来居上。

我国加速 NC 机床发展的对策具体地讲，今后要切实加速我国 NC 机床的发展，从上到下，必须认真做好以下 8 点：

1. 深刻认识 NC 机床本身的技术特点和发展规律。NC 机床是复杂先进的生产工具，应坚持一切为用户、质量第一、坚持信誉，整个机床工业以至全社会，要从根本上解决用

户、质量、信誉三大关键问题。学习美、德、日企业，100%的为产品服务，质量上乘、信誉卓著。技术过硬，基础扎实，具有不断创新开发实力，NC 机床才能顺利发展。

2. 必须做到“知己知彼、百战不殆”，对本国人力、物力、财力、技术水平应有实事求是的充分详细调查分析。针对国情，发展 NC 机床，切实用于生产，提高利用率、生产率、劳动生产率。

3. 要上下左右结合、针对国情、综合分析、全面考虑、远近兼顾，制订出我国整个机床工业及 NC 机床正确的发展方针、政策、方法、步骤、措施。在加速大量大批生产自动化、使物资极大丰富，人民生活水平迅速提高的基础上，适当发展中、小批多品种柔性生产自动化，打好各级技术基础，使 NC 机床的发展稳步前进，在生产上充分发挥应有的作用。

4. 科研是创新之路，必须加强科研设计队伍、充实科研经费，制订出机床工业及 NC 机床发展中要解决的重大课题，切切实实加强科研，分轻重缓急一一解决，NC 机床才有可能顺利发展。

5. 长期以来，我国高效自动化机床、NC 机床的主机设计水平很低，品种变化、发展很慢。设计方法落后，必须进一步深入发展 CAD/CAM 技术，切实掌握应用。只有切实全面提高主机设计创新开发能力，加上各种先进配套部件、系统，我国 NC 机床才能迅速发展。

6. 除主机设计应过硬外，必须加速发展各种配套件、刀具、NC 系统等。要加速发展 NC 机床，首先必须开展 NC 机床的有关技术、发展趋势、市场需求等方面的深入学习、讨论。

7. 中国即将加入 WTO，参与世界机床市场激烈竞争。中国机床工业的振兴，NC 机床的加速发展，归根到底，取决于人员素质的提高、工业文化水平的提高、人才的加速培养，有效的深化改革、改组、改制，切切实实加强科学管理，提高工作质量、生产率、劳动生产率。

进入 21 世纪知识经济时代，科学知识及作为重要生产要素的机床，其作用将更加突出。在今后 10 年、20 年，以至 50 年中，我国机床工业及 NC 机床能否顺利迅速发展，将取决于人才、发展方针、政策、方法、步骤、措施及战略战术的正确性。

1.1.3 加工中心的发展动向

近年来，加工中心的发展主要目标是主轴转速、进给速度和自动换刀（ATC）的高速化、缩短辅助时间、提高加工精度、缩短刀具交换时间、提高自动化程度等。

1. 高速化

1) 主轴转速高速化

80 年代初，加工中心的最高转速约为 4000~5000r/min。进入 80 年代中期，在不断要求提高生产率和机床精度的背景下，随着计算机控制系统的进一步发展及高效刀具的开发，为实现越来越高的加工速度创造了条件，主轴轴承、驱动控制和刀具等技术的快速发展，使加工中心的主轴转速不断提高。在 CIMT2001 第七届中国国际机床展览会上展出的

加工中心中，主轴转速在 10000r/min 以上的共 48 台，其中中国产的 20 台，占 42%。主轴转速超过 20000r/min 的有沈阳中捷友谊厂生产的 D165 立式加工中心，主轴转速为 40000r/min；德国 Rieders 公司生产的 FRP760 主轴转速为 42000r/min；瑞士 MIKRON 公司的 HSM700 高速加工中心，机床主轴采用瑞士 IBAG 公司生产的 HF 高速电主轴系统，主轴转速范围为 3000~42000r/min。

高速电主轴是采用无外壳电机，将其转子用压配合的形式直接套状在机床主轴上，带有冷却套的定子则安装在主轴单元的壳体中，形成内装式电主轴，采用不同的轴承其转速也不同。德国 KAPP 公司采用磁悬浮轴承的砂轮主轴，转速可达 60000r/min。电主轴的应用是当今世界先进机床设计的标志，其优点是高速加工不但可以成倍地提高生产率，还可进一步改善零件的加工精度和表面质量，解决一些常规加工中难以解决的某些特殊材料（如铝钛合金、模具钢等）的高效加工问题。

2) 进给速度高速化

80年代初，加工中心主轴移动速度仅有 20m/min，90年代初，主轴移动速度为 75m/min。在目前直线电机的应用，进一步提高了轴的移动速度和加速度，轴移动速度可达 100~120m/min，轴移动的加速度为 $10\sim 20\text{m/s}^2$ 。例如，采用直线电机直接驱动的 XHC241 型加工中心轴移动速度可达 120m/min，轴移动的加速度为 14m/s^2 。

由于使用了具有良好的高速联动性能的数字伺服控制系统和直线电机，使切削进给速度也大大提高。从 EM2001 展览会的情况来看，高速加工中心的进给速度可达 80m/min，甚至更高，空运行速度可达 100m/min 左右。

在 CIM'97 上德国西门子公司作了直线电机 120m/min 高速进给表演，该公司直线电机最大进给速度达 200m/min，最大推力可达 6600N，最大位移距离为 504mm。目前直线电机加速度可达 2.5g 以上。但直线电机驱动的高速加工中心与传统电气机械驱动的高速加工中心相比，在投资费用上要高 20~30%。

2.加工高精度化

国内外生产加工中心的厂家，为了提高产品加工精度和质量，纷纷改造机械结构，提高机床精度，在滑动面使用了钢轨道加贴塑以减少精度。有的机床采用线接触，以提高运动阻力，提高移动速度，除应用更高精度的滚珠丝杠和脉冲编码器作反馈外，有的厂家（如德国 MAHO 公司）还采用光栅尺等反馈元件实现闭环控制，使定位精度、重复定位精度、反向间隙偏差等主要精度指标均达到了微米级的水平。例如德国 MAHO 公司的 MC800H 加工中心的重复定位精度反向间隙偏差均在 0.005mm 以内，日本 MAKINO 公司的 MCC65 加工中心定位精度 $\pm 0.002\text{mm}$ ，重复定位精度达 $\pm 0.001\text{mm}$ （JIS 标准）。

在加工精度方面，近 10 年来，普通的数控机床的加工精度已由 10 μm 提高到 5 μm ，精密级加工中心则从 3~5 μm 提高到 1~1.5 μm ，并且超精密加工精度已开始进入纳米级（0.01 μm ）。

3.换刀时间大大缩短

绝大多数厂家的卧式加工中心，其刀库均可容纳 40 把刀具以上，有 60、90、120 等

不同刀数的刀库可供选择。拖板基本 2 个，但也有 3、4、6 等不同数量的拖板供用户选择。这样做的目的是有利于用户按不同产品与加工要求选择最佳的性能价格比。

刀具之间交换时间越来越短，德国 STEINEL 公司的 BZ-26，日本 MAKINO 公司的 MCC86，美国 CINCINNATI 公司的 MAXIM500 型加工中心的刀具交换时间只需 3~4s。

换刀机构的不断完善和抓取式（Pick-UP）直接换刀的采用，使加工中心的换刀时间不断缩短。如在 CIMT2001 展览会上展出的日本新泻铁工所展出的 SPN50H 加工中心，其独特的拟人化双臂拔刀机构，使换刀时间仅有 1.4s。

4. 采用 AC 大功率电机，以实现强力切削

为了提高生产效率，需采用强力切削。这除了机床本体、夹具、工作台、刀具的材质、刚度、强度要好外，主轴功率也必须相应提高。目前各厂家生产的工作台尺寸在 500mm×500mm~630mm×630mm 范围的加工中心，绝大多数均采用交流无级调速电机，功率有较大提高。德国 STEINEL 公司的 BZ-26 型加工中心主轴交流电机功率达 28KW。

5. 数控系统高档化

90 年代初生产的加工中心，大多数厂家采用日本的 FANUC-OMC 或 15M 系统和德国 SIEMEN 公司的 SINUMENIK850 或 880 系统，少数厂家采用自己开发的数控系统。不管采用哪一种系统，CNC 中的 CPU 位数多数在 32 位以上；运行速度均在 10~16MHZ 以上，内存容量在 320KB 以上；数控轴数多，一般均在四轴以上，有的能达到 6~8 轴；CRT 显示器均在 12 英寸以上，且多数是彩色三维显示，显示的语种有英文、德文、法文、意大利文等供选择。台湾乔福公司的 HMC-500 和 630 型加工中心 CRT 还可用中文显示，这样极大地方便了操作人员观看。

数控系统具有对话式编程功能、故障自诊断功能、刀具破损等监控功能和测量功能。CNC 的分辨率均在 0.001~0.005mm 之间，并具有直线、圆弧和螺旋线插补功能。880 系统还具有圆柱插补功能。PLC（可编程逻辑控制）均采用数控内装式结构。CNC 还具有刀具长度、半径和坐标各轴背隙补偿功能与各轴的零点偏置功能，并具有 G、T、S、M 等编程功能，还有输入输出的接口和预留 COM 接口（通讯接口），以在有条件和必要时，将几台数控设备组成柔性生产系统。数据与程序输入有面板键盘、磁盘、磁带等多种形式，内存多数采用蓄电池支撑的 COMS 等半导体存储器，日本 MAKINO 公司采用了更为先进的磁泡存储器。这种存储器不需电池支撑也能长期保存数据与程序。

6. 改善了排屑及冷却系统，提高了加工件的清洁度与质量

所有的加工中心均具备自动排屑装置、油水分离装置和冷却系统。在改善排屑效果方面有两种发展趋势。其一，工作台面安装采用倾斜式，即工作台与水平面约有 30° 至 45° 的倾角；其二，安装夹具的工作台与水平面成 90 度，以利于工件排屑。

为了实现深孔加工（孔径在 10mm~16mm）很多加工中心在主轴头上设计有内冷却液系统，使冷却液经主轴头与刀具中的内孔喷出。主轴中心冷却液的压力提高，如德国 MAHO 公司的 MC-800，冷却液的压力达 4Mpa 以上。为了保持主轴头的精度，设计了主轴箱恒温系统。

由上可见，国际上加工中心正向自动化程度更好、机床精度更高、功能更全、切削效率更高、机床结构更趋合理的方向发展。

1.1.4 我国数控机床研究存在的问题

我国的数控机床行业在近几年中有了很大的发展，但对数控机床的进口量依然很大。我国进口的 NC 机床，大都是自己不能生产、水平达不到的中、高档机床，其中特别是加工中心。均采用 CAD、有限元分析、先进的数控程序软件等先进方法，配套基础元部件、NC 系统实行国际配套方面，我国仍需大力提高。

1.2 加工中心概论

加工中心的功能及特点：

1.加工中心的功能

加工中心（Machining Center-MC）是一种功能较全的数控加工机床。它把铣削、镗削、钻削和切削螺纹等功能集中在一台设备上，使其具有多种工艺功能。加工中心设置有刀库，刀库中存放着不同数量的各种刀具和量具，在加工过程中由程序自动选用和更换。这是它与数控铣床、数控镗床的主要区别。加工中心与同类数控机床相比结构较复杂，控制系统功能较多。加工中最少有三个运动坐标系，多的达十几个。其控制功能最少可实现两轴联动控制，实现刀具运动直线插补和圆弧插补。多的可实现五轴联动、六轴联动，从而保证刀具进行复杂加工。加工中心还具有不同的辅助功能；如：各种加工固定循环，刀具半径自动补偿，刀具长度自动补偿，刀具破损报警，刀具寿命管理，过载超程自动保护，丝杠螺距误差补偿，丝杠间隙补偿，故障自动诊断，工件与加工过程图形显示，人机显示，工件在线检测和加工自动补偿、离线编程等，这些功能提高了数控机床的加工效率，保证了产品的加工精度和质量，是普通加工设备无法相比的。

2.加工中心的特点

加工中心是集高新技术于一体的机械加工设备，它的发展代表了一个国家设计、制造的水平，因此在国内外企业界都受到高度重视。加工中心综合加工能力较强，工件一次装夹后能完成较多的加工步骤，加工精度较高，对于中等加工难度的批量工件，其效率是普通设备的 5~10 倍。加工中心对形状较复杂，精度要求高的的单品加工或中小批量多品种生产更为合适。特别是对于必须采用工装和专机设备来保证产品质量和效率的工件，采用加工中心加工，可以省去工装和专机。这为新产品的研制和改型换代节省大量的时间和费用，从而使企业具有较强的竞争能力。因此它也是判断企业技术能力和工艺水平标志的一个方面。如今，加工中心已成为现代机床发展的主流方向，广泛用于机械制造中。与普通数控机床相比，它有以下几个突出要点：

1) 工序集中

加工中心备有刀库，能自动换刀，并能对工件进行多工序加工。现代加工中心可使工件在一次装夹后实现多表面、多工位的连续、高效、高精度加工，即工序集中。这是加工中心最突出的特点。

2) 加工精度高

加工中心同其他数控机床一样具有加工精度高的特点，而且加工中心可一次装夹工件，实现多工序集中加工，减少了多次装夹带来的误差，故加工精度更高，加工质量更加稳定。

3) 适用性强

加工中心对加工对象的适用性强。加工中心改变加工零件时，只需重新编制（更换）程序，输入新的程序就能实现对新的零件的加工，这对结构复杂零件的单件、小批量生产及新产品试制带来极大的方便。同时，它还能自动加工普通机床很难加工或无法加工的精密复杂零件。

4) 生产效率高

加工中心带有刀库，在一台机床上能集中完成多种工序，因而可减少工件装夹、测量和机床的调整时间，减少工件半成品的周转、搬运和存放时间，机床的切削利用率（切削时间和开动时间之比）高。

5) 经济效益好

加工中心加工零件时，虽分摊在每个零件上的设备费用较昂贵，但在单件、小批量生产的情况下，可以节省许多其他方面的费用。由于是数控加工，加工中心不必准备专用钻模等工艺装备，加工之前节省了划线工时，零件安装到机床上之后可以减少调整、加工和检验时间。另外，由于加工中心的加工稳定，减少了废品率，使生产成本进一步下降。

6) 自动化程度高，劳动强度低

加工中心的加工零件是按事先编好的程序自动完成的，操作者除了操作键盘、装卸零件、进行关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度可大为减轻。

7) 有利于生产的现代化管理

用加工中心加工零件，能够准确地计算零件的加工工时，并有效地简化检验和工夹具、半成品的管理工作。这些特点有利于使生产管理现代化。

当前有许多大型 CAD/CAM 集成软件已经开发了生产管理模块，实现了计算机辅助生产管理。加工中心使用数字信息与标准代码输入，最适宜计算机联网及管理。加工中心的工序集中加工方式有其独特的特点，但也带来一些问题。

①工件由毛坯直接加工成为成品，一次装夹中金属切除量大、几何形状变化大，没有释放应力的过程，加工完成了一段时间后内应力释放，使工件变形。

②粗加工后直接进入精加工阶段，工件的温升来不及回复，冷却后尺寸变动，影响零件精度。

③装夹工件的夹具必须满足既能承受粗加工中大的切削力，又能在精加工中准确定位的要求，并且零件夹紧变形要小。

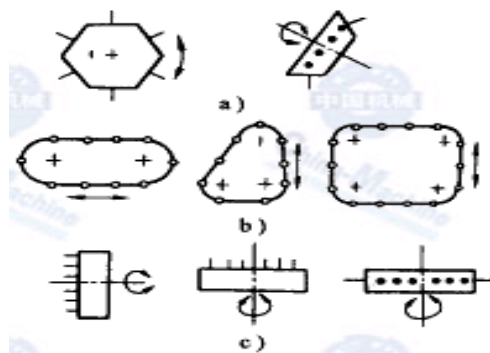
④切削不断屑，切屑的堆积、缠绕等会影响加工的顺利进行及工件的表面质量，甚至损坏刀具，产生废品。

3.加工系统中常用加工设备介绍

加工中心是一种备有刀库并能按预定程序自动更换刀具,对工件进行多工序加工的高效数控机床。它的最大特点是工序集中和自动化程度高,可减少工件装夹次数,避免工件多次定位所产生的累积误差,节省辅助时间,实现高质、高效加工。

常见加工中心按工艺用途可分为镗铣加工中心、车削加工中心、钻削加工中心、攻螺纹加工中心及磨削加工中心等。加工中心按主轴在加工时的空间位置可分为立式加工中心、卧式加工中心、立卧两用（也称万能、五面体、复合）加工中心。

在实际应用中,以加工棱柱体类工件为主的镗铣加工中心和以加工回转体类工件为主的车削加工中心最为多见。由于镗铣加工中心（1958年由美国 KM 公司在数控铣床上加刀库）最早出现,且名为加工中心（Machining Center）,所以习惯上常把“键铣加工中心”称为“加工中心”。我们不妨也沿用此习惯。



a) 转塔式 b) 链式 c) 盘式

图 1.1 加工中心刀库的基本类型

加工中心的刀库有链式、盘式和转塔式等基本类型,如图 1.1 所示。链式刀库的特点是存刀量多、扩展性好、在加工中心上的配置位置灵活,但结构复杂。盘式和转塔式刀库的特点是构造简单、适当选择刀库位置还可省略换刀机械手,但刀库容量有限。根据用途,加工中心刀库的存刀量可为几把到数百把,最常见的是 20~80 把。

加工中心的自动换刀装置常采用公用换刀机械手。公用换刀机械手有单臂式、双臂式、回转式和轨道式等。由于双臂式机械手换刀时,可在一只手臂从刀库中取刀的同时,另一只手臂从机床主轴上拔下已用过的刀具,这样既可缩短换刀时间又有利于使机械手保持平衡,所以被广泛采用。常用双臂式机械手的手爪结构形式有钩手、抱手、伸缩手和图 1.2 双臂式机械手的手爪结构叉手,如图 1.2 所示。除上述 a) 钩手 b) 抱手 c) 伸缩手 d) 叉手的公用机械手换刀方式外,还有多机械手换刀方式,即刀库中每把刀有一个机械手,此外,还有不用机械手的直接换刀方式。

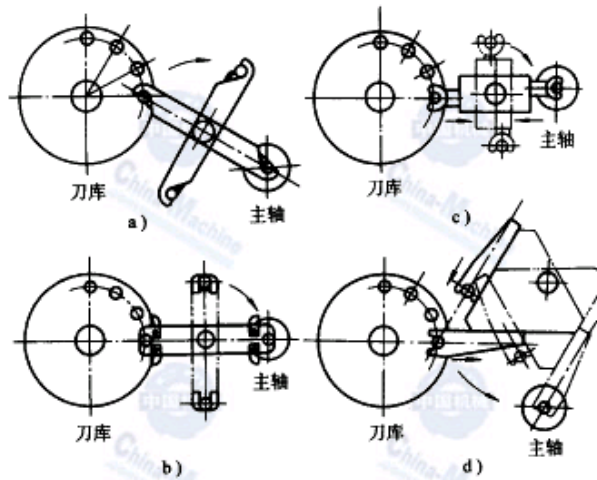


图 1.2 双臂式机械手的手爪结构

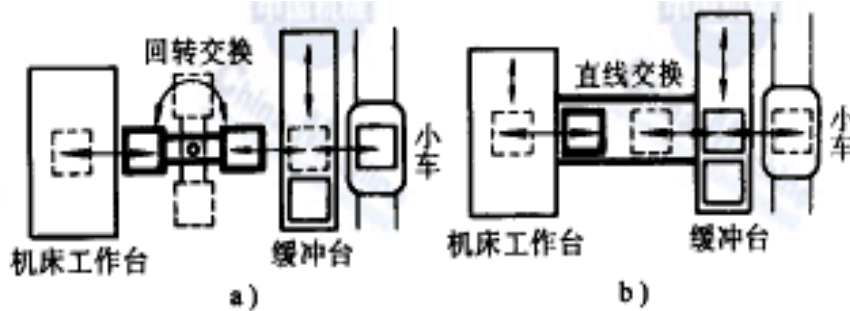
加工中心换刀时需从刀库中选择指定的刀具，主轴头也必须回到换刀位置。从刀库中挑选所需刀具的方法有顺序选择法、刀座编码法、刀具编码法和刀具刀座跟踪记忆法。其中，刀具刀座跟踪记忆法在加工设备内使用最为方便，刀具编码法适合于 FMS 刀具的集中管理，所以在 FMS 中常将这两种方法混合使用。

加工中心的换刀时间有两种定量方法：刀对刀换刀时间（主轴和刀库刀座都回到换刀点后交换刀具所需的时间）和加工对加工换刀时间（从上一把刀加工结束到刀具交换后下一把刀进入加工所

需的时间）。通常加工中心的技术参数中给出的换刀时间是刀对刀换刀时间（或称净换刀时间），目前最快为 0.45s，一般为 5s 左右。换刀时间取决于换刀机构（如机械式快于机—液（气）式）、刀柄规格（如小规格刀柄换刀速度快）、刀具重量（如刀具轻换刀速度快）、机床规格、机械手尺寸和惯量等。因此，通常刀柄号越大，换刀速度越低。

加工中心中最为常见的换料装置是托盘交换器（Automatic Pallet Changer——APC），它不仅是加工系统与物流系统间的工件输送接口，也起物流系统工件缓冲站的作用。托盘交换器按其运动方式有回转式和往复式两种，如图 1.3 所示。托盘交换器在机床单机运行时是加工中心的一个辅件，但在 FMS 的整体功能分析上，它完成或协助完成物料（工件）的装卸与交换，并起缓冲作用，因此从系统分析出发，又可把它划为物流系统。

通常托盘交换器、刀库及换刀机械手都由加工设备数控系统的可编程序控制器控制，驱动源有液压、气压和电能。交换托盘、选刀和换刀应允许手动操作，以适应维修和调整用。



a) 回转交换方式 b) 直线交换方式

图 1.3 托盘交换器的运动方式

1.2.1 自动换刀系统产品化的意义和前景

自动换刀系统是数控机床的重要组成部分。刀具夹持元件的结构特性及它与机床主轴的联结方式，将直接影响机床的加工性能。刀库结构形式及刀具交换装置的工作方式，则会影响机床的换刀效率。自动换刀系统本身及相关结构的复杂程度，又会对整机的成本造价产生直接影响。

从换刀系统发展的历史来看，1956 年日本富士通研究成功数控转塔式冲床，美国 IBM 公司同期也研制成功了“APT”（刀具程序控制装置）。1958 年美国 K&T 公司研制出带 ATC（自动刀具交换装置）的加工中心。1967 年出现了 FMS（柔性制造系统）。1978 年以后，加工中心迅速发展，带有 ATC 装置，可实现多种工序加工的机床，步入了机床发展的黄金时代。1983 年国际标准化组织制定了数控刀具锥柄的国际标准，自动换刀系统便形成了统一的结构模式。目前国内外数控机床自动换刀系统中，刀具、辅具多采用锥柄结构，刀柄与机床主轴的联结、刀具的夹紧放松机构及驱动方式几乎都采用同一种结构模式。在这种模式中，机床主轴常采用空心的带有长拉杆、碟形弹簧组的结构形式，由液压或气动装置提供动力，实现夹紧放松刀柄的动作。利用这种机构夹持刀具进行数控加工的最大问题是，它不能同时获得高的夹持刚度和刀具振摆精度，而且主轴结构复杂，主轴轴向尺寸过大，加上它的液压驱动装置及刀具辅具锥柄的制造成本，使得自动换刀系统的造价在机床整机中占有较大的比重。据有关资料介绍，在刀具采用锥柄夹头、侧压夹头以及弹簧夹头夹紧性能的对比实验中，采用弹簧夹头夹持刀具是唯一可同时获得高的夹持刚度和振摆精度的理想元件。采用这种夹持元件，刀具或刀具辅具可作成圆柱柄，其制造成本低，精度易保证，这对大容量刀库降低刀具辅具的制造成本，意义更为显著。在现代数控机床上亦有采用弹簧夹头作为刀具的夹持元件，但机床的主轴结构、驱动方式仍然采用与上述锥柄刀具完全相同的结构形式。采用这种结构模式，在实际数控加工中，尤其是在需要超高速主轴、主轴的径向、轴向尺寸都很小、没有足够的换刀空间的微细加工场合中实现自动换刀将会是很困难的，如果实施自动换刀那将使机床成本大幅度提高。如在 CNC 控制磨削球面铣刀的数控磨削机床上，直接由高速电机驱动主轴，使用小直径盘形砂轮和指形砂轮加工球面铣刀，换刀空间很小，在这种条件下，将难以实现自动换刀。国外最新研制的内圆磨床上采用的弹簧夹头自动换刀装置售价昂贵。

为了更好地简化数控机床主轴结构,尽可能地减小换刀机构对机床主轴结构优化设计带来的影响,采用弹簧夹头这一理想的刀具夹持元件,在机床主轴的设计上除了轴端制作出与弹簧夹头联结的专用结构外,机床主轴结构完全可以根据其优化要求来确定,从而可最大限度地提高机床主轴的工作性能。本研究以它巧妙的构思,对换刀机械手、刀具交换装置、刀库结构形式以及驱动机构进行了新的设计,改变了传统的结构模式。在本项研究中要解决的主要问题有:

1). 研究适用于机床主轴结构并能满足自动换刀要求的高性能弹簧夹头结构模式

弹簧夹头的结构及其制造工艺的优化程度直接影响着它的使用性能。用于自动换刀的弹簧夹头必须具备夹紧力大,能够自锁和工作可靠的特点,而且还必须具有足够的夹持刚度,同时便于刀具的轴向精确定位。

2). 研究确定弹簧夹头与机床主轴头部可靠联结的结构方案

弹簧夹头与主轴采用轴头联结,这种联结方式完全不影响机床主轴自身的优化设计。弹簧夹头对定尺寸柄刀具或定尺寸柄辅具的夹紧放松动作采用主轴轴端外驱动工作方式。因此要研究满足以上要求的主轴轴端结构形式。

3). 换刀机械手与驱动装置的研究

换刀机械手的主要任务是,完全模拟人手的换刀动作,给机床主轴与弹簧夹头提供相对转动实现夹紧、放松刀具的动作。机械手应具备足够的转矩,该转矩还必须恒定(可调)。同时还应使机械手具备结构紧凑、占据空间小的特点,以适应不同类型机床的换刀空间。换刀机械手完全采用电磁机械传动,以求最大限度地降低自动换刀系统的成本造价。

4). 刀库结构及刀库驱动方式的研究

要在总结现有数控机床刀库类型、刀架结构、刀库驱动方式的基础上,研制出夹持圆柱形定尺寸柄刀具或辅具的刀库形式、刀架结构和刀具交换装置。同时包括刀库的驱动、定位机构、刀具编码方式的研究。

5). 智能型控制系统的研究

自动换刀系统采用单片机或 PLC 控制,它通过几条与主控机的联络信号线以及系统内设置的自诊断、自适应功能实现对换刀系统的全自动控制管理。

本研究已取得了阶段性成果,并获得了国家专利。该项研究包括:采用高性能弹簧夹头夹持刀具,使用外驱动机械手完成刀具的夹紧、放松,系统配置扩展型链式刀库和刀具交换装置,整机采用电磁机械传动、PLC 控制,换刀系统具有夹紧力大、夹紧力恒定(可调)、自动复位以及各种自检保护功能,同时具有占据空间小的特点。研究的最终目标是,期望能够形成一种结构紧凑、工作稳定可靠、造价低廉、可供不同类型数控机床选型配套的智能型高性能自动换刀系统系列产品。

随着机械加工业的发展,制造行业对于带有自动换刀系统的高效高性能加工中心的需求量越来越大。在现有的各种类型的加工中心中,传统结构的自动换刀系统的造价在机床整机造价中总是占着很大比重,这是加工中心价格居高不下、应用不普遍的重要原因。如果把自动换刀系统的设计制造从现有加工中心的制造模式中分离出来,把它作为加工中心

的标准件或附件组织专门化的生产，同时由于该项技术的应用简化了机床主轴结构、采用弹簧夹头和外驱动机械手等关键技术、采用圆柱柄刀具和辅具，这不仅使数控机床工作性能有所提高，而且使得由它配套构成的加工中心的总体造价大幅度下降。低造价高性能的加工中心将会被中小厂广泛接收，这样必将给自动换刀系统生产厂商和加工中心制造厂商带来巨大的经济效益。

1.3 本论文研究的目的和意义

本课题开发设计的小型加工中心刀库。随着数控技术的发展和普及，加工中心的作用越发突显它的重要性。为进一步提高数控机床的加工效率，数控机床正向着工件在一台机床一次装夹即可完成多道工序或全部工序加工的方向发展，因此出现了各种类型的加工中心机床，如车削中心、镗铣加工中心、钻削中心等等。这类多工序加工的数控机床在加工过程中要使用多种刀具，因此必须有自动换刀装置，也就是所说的刀库，以便选用不同刀具，完成不同工序的加工工艺。自动换刀装置应当具备换刀时间短、刀具重复定位精度高、足够的刀具储备量、占地面积小、安全可靠等特性。

1.4 本论文完成的主要工作

本论文是开发设计出一种体积小、结构紧凑、价格较低、生产周期短的小型立式加工中心刀库。主要完成以下工作：

1. 通过深入各种类型的企业、高工专学校、中专、技校现场调查，通过查阅相关的资料，对国内外同类产品进行市场调研、技术调研和社会环境调研，了解该产品的发展现状和发展方向，从而确定本课题的可行性和必要性。
2. 通过对不同的结构原理方案和各部件的结构设计方案的分析对比，确定加工中心刀库的总体技术设计方案和主要技术性能参数。
3. 通过对加工中心的自动换刀系统不同设计方案的对比分析，确定刀库的设计方案，并进行相关设计和计算。
4. 用 CAD 软件绘制总体装配图、各部件、组件装配图及主要非标准零件的零件图。

第 2 章 总体方案的设计

加工中心刀库的总体方案设计是根据其功能和设计要求，从全局的角度，以系统的观点，进行自动换刀装置刀库整体方面的设计，主要包括运动功能方案设计、基本参数设计、传动系统设计、总体结构布局设计等内容。

2.1 运动方案的设计

加工中心主要用来加工小型板类、盘类、模具类、多孔类零件上的小孔和平面。主要是钻削和铣削加工。

2.1.1 运动数目的确定

要实现以上各种零件表面的钻削和铣削加工功能，机床必须具有以下运动：一个是主运动即主轴带动刀具回转（ V_c ）；另一个是三个方向的进给运动，包括实现切入工件一定深度（Z 方向）的进给运动；实现在水平面内两个方向（X、Y 方向）的进给运动。此外，还必须有换刀功能，因此还必须有非成形运动，如换刀需要刀库转位、移动等运动。

2.1.2 运动方案的确定

加工中心加工工件所需的这些运动，必须由对应的执行部件来实现。加工中心的主运动一般都由主轴部件（主传动系统）来完成，而进给运动可以由工件来完成；也可以由刀具来完成；或者是由刀具和工件来共同完成。这样就影响到部件的相互位置关系的配制和总体关系。采用哪种形式与被加工工件尺寸、形状、质量和功能等因素有关。对具有钻、铣的功能的立式加工中心，根据工件的质量、尺寸等的不同，可以有以下几种不同的运动方案：

1. 由工件完成三个方向的进给运动 如图 2.1a) 所示，当加工质量较轻工件时，分别由 X-Y 向工作台和升降台来实现；

2. 工作台带动工件做一个方向的进给运动，其他两个方向的进给运动由刀具在立柱与横梁上移动来完成 如图 2.1b) 所示，这种方案不仅适用于质量大的工件加工，还可增多主轴头，使加工中心的生产效率得到很大的提高。

3. 由刀架来完成三个方向的进给运动 如图 2.1c) 所示，当加工较重或尺寸较高的工件时，则不宜由工件做进给运动，而是工作台固定不动，改为由刀具来完成进给运动。采用了立柱在床身上沿前后方向移动来 Y 方向的进给；由刀具在横梁上移动来完成 Z 向的进给。通常见于大、中型动柱式加工中心。这种方案可以避免的尺寸工作台在溜板两端极限位置发生翘曲和大溜板加工难的问题，从而减少了溜板和结构的多层，有利于提高机床精度。

4. 由工作台实现 X、Y 两个方向的进给，而刀具来完成垂直进给运动 如图 2.1d) 所示，当加工质量较轻、体积较小的工件，且主轴部件的重量、体积较小时，也可以由 X-Y 工作台实现两个方向的进给，而由刀具来完成垂直进给运动。适用于小型加工中心，

通常都采用固定立柱方式。由于立柱固定在床身上，就便于把刀库、电柜等装在立柱上。

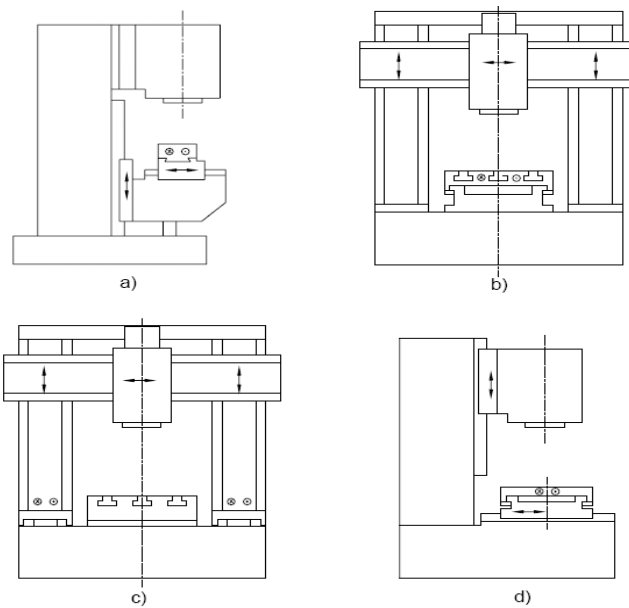


图 2.1 加工中心运动方案

2.2 功能部件的设计方案

加工中心一般由主传动系统、进给伺服系统、自动换刀系统、基础部件、数控系统和辅助装置等部分组成。

2.2.1 主传动系统

主传动系统用来实现加工中心的主运动。由主轴箱、主轴、轴承、松拉刀机构、电动机等零件组成。这是加工中心自动换刀装置的关键部分，主轴的启动、停止、变速等动作通过数控系统控制由主传动系统来实现。并且通过安装在主轴上的刀具实现切削运动。

要求主轴部件必须具备足够的转速范围、功率和扭矩，在大部分转速范围内要保持恒功率，当降到计算转速以下时，要保持恒扭矩传动；主传动系统的各零部件，应具有足够的强度和必要的刚度及抗震性能；噪声低、运转平稳性好。传动方案有以下几种：

1. 齿轮传动

目前加工中心主传动大多用宽调速主轴电机，其调速范围达 1: 100。对某些中小型加工中心，已经足够了，不需要经过齿轮变速。如果所需转速范围超过 1: 100（如中型以上规格的加工中心），则需通过齿轮换档的方法实现。

2. 带传动

加工中心主传动系统使用的带传动多为同步带传动。它是一种综合了带、链传动优点的新型传动。具有以下优点：

1) 传动比准确

同步带传动是啮合传动，工作时无滑动。

2) 传动效率高

可达 98%以上，节能效果明显。

3) 重量轻，结构紧凑

不需依靠摩擦传动，预紧张力小，对轴和轴承的作用力小，带轮直径小。

4) 线速度高

可达 50m/s，因齿形带较薄。

5) 传动平稳

动态特性良好，能吸振，噪声小。

6) 使用范围广

传递功率由几瓦至数千瓦，速比可达 10 左右。

7) 使用保养方便

不需要润滑，耐油、耐磨性和抗老化好，还能在高温、灰尘、水及腐蚀介质等环境中工作。

由于以上优点，所以实际中多用。但安装要求较高，两带轮轴心线平行度要求高，中心距要求严格。带和带轮的制造工艺复杂，成本低。

3. 电主轴

有内装式电动机直接驱动，结构的最大特点是实现了机床的“零传动”，这种传动方式取消了从主电动机到主轴之间一切中间的机械传动环节（如皮带、齿轮、离合器等），实现了主电动机与机床主轴的一体化。这种传动方式有以下优点：

1) 机械结构最为简单，传动惯量小

因而快速响应性好，能实现极高的速度、加（减）速度和定角度的快速准停。

2) 实现了主轴部件的单元化，可独立作成标准化的功能部件，并由专业厂进行系列化生产

机床主机厂只需根据用户的不同要求进行选用，可很方便地组成各种性能的高速机床，符合现代机床设计模块化的发展方向。

3) 高速运转的可靠性与安全性好

因电主轴还有一系列控制主轴温升与振动等机床运行参数的功能。

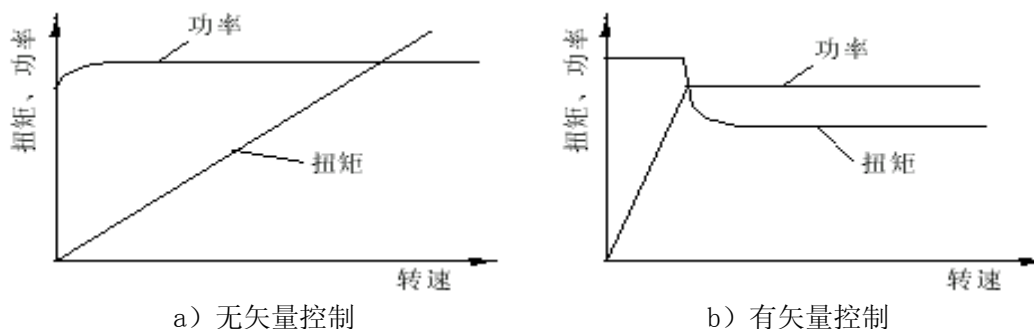


图 2.2 扭矩-功率特性

4) 电主轴比传动的主轴传动系统的结构简单紧凑

便于把它用在多轴联动机床，多面体加工机床和并联（虚拟轴）机床。

5) 电主轴比传动的主轴传动系统的结构简单紧凑

便于把它用在多轴联动机床，多面体加工机床和并联（虚拟轴）机床。

如果采用齿轮、带传动则需自行设计主传动系统，将会增加设计和制造周期，且为单件生产，成本也较高，转速也受到一定的限制。该加工中心主要用来加工小孔和小平面，因此要想提高零件加工的生产率，也须提高主轴的转速。如果选用由专门厂家生产的已系列化和标准化电主轴，转速可根据需要选择。不仅可保证高的生产率，而且也可根据用户的不同要求选用不同的规格，可缩短产品的设计和制造周期。对比以上三种方案选用电主轴。

2.2.2 进给伺服系统

进给系统由伺服电机、滚珠丝杠、导轨等组成。要求进给伺服系统必须具有高速下的平稳运行，较高的定位精度且防止爬行，要求进给系统中的机械传动装置和元件具有较高的灵敏度，低摩擦阻力和动、静摩擦系数之差小以及高寿命等。

1. 进给伺服系统的控制方式

进给伺服系统可分为半闭环、全闭环和混合伺服控制三种方式：

1) 半闭环控制方式

普通精度的加工中心，大都采用这种方式。它不是直接检测工作台等移动件的位置，而是通过检测滚珠丝杠的回转角度（或伺服电机轴的回转角度）来间接地检测移动件的位置。

2) 全闭环控制方式

这种控制方式，通常是在精密加工中心上采用。移动部件（如工作台、主轴箱等）的移动位置，是由直线尺（如感应同步器，光栅尺等）直接进行检测并反馈给比较回路，因而不受丝杠精度和热变形的影响，得到较高的定位精度。

3) 混合伺服控制方式

这种方式，通常是在重型加工中心上采用。所谓混合伺服控制，就是半闭环控制和全闭环控制并存的控制方式。此种方式对使用条件恶劣的重型机床，可用高增益得到高定位精度。

2. 导轨

两个作相对运动的部件构成一对导轨副，其中，在工作时固定不动的配合面被称为固定导轨或静导轨；相对固定导轨作直线或回转运动的配合面被称为运动导轨或动导轨。根据导轨副之间的摩擦情况，导轨分为滑动和滚动导轨两大类：

1) 滑动导轨

具有结构简单、制造方便、接触刚度大等优点，在机械产品中应用广泛，其两导轨工作面的摩擦性质为滑动摩擦。传动滑动导轨摩擦阻力大，摩擦快，动、静摩擦系数差别大，低速时易产生爬行现象。常用的有普通滑动导轨、卸荷导轨和液体静压导轨等结构形式。

2) 滚动导轨

滚动直线导轨主要由导轨体、滑块、钢球、保持架、反向器、密封端盖及挡板等组成。

导轨体固定在不动部件上，滑块固定在运动部件上，当导轨与滑块作相对运动时，钢球就沿着导轨上的经过淬硬和精密磨削加工而成的四条滚道滚动，在滑块端部钢球又通过反向器进入反向孔后再进入滚道，钢球就这样周而复始地进行滚动运动。反向器两端有防尘密封端盖，可有效地防止灰尘、屑末进入滑块内部：

（1）摩擦系数小

一般在 0.003~0.004，动、静摩擦系数很接近，低速运动不会产生爬行现象，可以用油脂润滑，润滑方法简单，便于维护。

（2）有自调整能力

成对使用导轨副时，具有“误差均化效应”，安装基面许用误差大，使得安装方便，生产周期短，降低了对配件的加工精度要求，也降低了导轨安装基面的机械制造成本与难度。

（3）承载能力大

其滚道截面采用合理比值的圆弧沟槽，增大了滚动体与圆弧滚道的接触面积，接触应力小，从而大大的提高了导轨的承载能力，可达到平面滚道形式的 3 倍。

（4）刚性强

在装配导轨时可预加负荷，能实现无间隙运动，以提高滚动导轨的刚度，所以滚动导轨在工作时间可承受较大的冲击和振动。

（5）寿命长

导轨采用表面硬化处理，使导轨具有良好的可校性，心部保持良好的机械性能，且由于是纯滚动，摩擦系数是滑动导轨的 1/50 左右，磨损小，因而寿命长，功耗低，便于机械小型化。

（6）传动平稳可靠

由于摩擦力小，动作轻便，因而定位精度高，微量移动灵活准确；在较差的工作条件下可长时间保持高精度。

（7）可高速运行、静摩擦力之差很小，随动性好，即驱动信号与机械动作滞后的时间间隔极短，有益于提高数控系统的响应速度和灵敏度，适应高速直线运动。但结构复杂，几何精度要求高，抗振性差，防护要求高，制造困难，成本高。它适用于工作部件要求移动均匀、动作灵敏以及定位精度高的场合。

3. 伺服电机常用的伺服电机有直流和交流两种：

1) 直流伺服电机

数控机床中应用较多的是宽调速直流伺服电机，其主要特点是调速范围宽、低速运行平稳；负载特性硬、过载能力强，在一定的速度范围内可以做到恒力矩输出；反应速度快，动态响应特性好。但体积较大，电刷易磨损，寿命受到一定的限制。

2) 交流伺服电机

这种伺服电机的主要特点是转矩和惯量比高，能承受高的加减速；转矩波动小；低速性能好，在很低速时，电机仍能平滑旋转；在保证高输出转矩的情况下，电机的体积小，

重量轻；由于采用高频宽调制控制，电机只有很低的噪声和振动。利用交流伺服系统可进行精密定位控制。所以应用越来越广。

由于该加工中心刀库容量较小，而且精度较高，故选用交流伺服电机。设计中选用了日本 Panasonic 公司生产的 MINASA 系列交流伺服电机和驱动器。

2.2.3 自动换刀系统

通过自动换刀系统来实现零件加工时的换刀。它由刀库电机、传动装置、刀夹等组成。

1. 自动换刀装置的形式对于该加工中心自动换刀装置的设计可以有两类方案：

1) 有机械手换刀方式

加工中心的 ATC，大都采用有机械手换刀方式。它是由机械手把刀库上的刀具送到主轴上，再把主轴上已用过多的刀具返送到刀库上。采用机械手进行刀具交换的方式应用很广泛，这是因为机械手换刀有很大的灵活性，尤其是双臂机械手，抓刀、拔刀、回转、插刀以及返回等动作一次性完成，可以减少换刀时间。但其机械结构比较复杂。

2) 无机械手换刀方式

无机械手换刀方式是直接在刀库与主轴（或刀架）之间的自动换刀方式。这种换刀方式没有机械手，因而结构简单。换刀时必须首先将用过的刀具送回刀库，然后再从刀库中取出新刀具，这两个动作不能同时进行，所以换刀过程较为复杂，它的选刀和换刀由三个坐标轴的数控定位系统来完成，因此换刀时间较长，影响了机床的加工效率。但是刀库回转时在工步于工步之间，即非切削时进行的，因此虽然刀库设置在立柱侧面，却免去刀库回转时的振动对加工精度的影响。

适用于 40 号以下刀柄的小型加工中心或换刀次数少的用重型刀具的重型机床。考虑到所设计的小型加工中心主要用于中小批量生产，且只用来加工小型零件上的孔和面，刀库容量较小，无须过多考虑换刀时间的长短，且采用的时 30 号刀柄，又要求加工中心体积小，机械结构简单，综合考虑，刀库宜选择无机械手换刀方式。

表 2.3 滚珠丝杠的支承方式

支承形式	简图	特点
一端固定 一端自由 (F—O)		结构简单；刚度、临界转速、压杆稳定性低；设计时尽量使丝杠受拉伸；适用于较短和垂直的丝杠。
一端固定 一端支承 (F—S)		需保持螺母与两端支承同轴，故结构较复杂；丝杠的轴向刚度和 F—O 相同；压杆稳定性和临界转速比同长度的 F—O 型高；丝杠有热膨胀的余地；适用于较长的丝杠安装。
二端支承 (J—J)		可根据预计温升产生的热膨胀量进行预拉伸
二端固定 (F—F)		只要轴承无间隙，丝杠的轴向刚度为一端固定的 4 倍；丝杠一般不会受压，无压杆稳定问题，固有频率比一端固定要高；可进行预拉伸；适用于对刚度和位移要求高的场合。

2. 刀库形式的选取

无机械手换刀方式中，刀库可以是圆盘形、直线排列式，也可以是格子箱式等。无机械手换刀方式中特别需要注意的是刀库转位定位的作用准确度。圆盘形刀库容量较小，刀库结构简单紧凑，刀库转位、换刀方便，易控制。直线排列式和格子箱式刀库结构相对复杂，适用于刀库容量较大的加工中心。

考虑到所设计的加工中心只用来加工小型零件上的孔和面，不必在刀库里放太多刀具，根据实用性进行考虑，因此选用结构简单、容量较小、体积较小的圆盘式刀库。

3. 刀库位置的放置

立式加工中心无机械手换刀方式的圆盘形刀库的放置又两种形式：

1) 刀库置于立柱侧面大横梁上

如图 2.4a) 所示。此方案可使工作台尺寸较小，且可采用厂家已生产合适尺寸的工作台，可减少设计制造周期。结构简单，且不会发生刀库和主轴干涉现象，但刀库的支承刚性较差，须增强立柱的刚度，以减小横梁弯扭矩的影响。

2) 刀库置于工作台上

如图 2.4b) 所示。此方案刀库的支承刚性好，结构简单。但影响加工中心主轴 y 轴方向上的行程，要求工作台的尺寸较大，须自行设计，且减少了工作台的有效面积

综合分析以上两种方案，采用 1) 方案，即图 2.4a) 的布置形式。在立柱左边安装一横梁，在横梁有导轨，导轨上安装有滑座，将刀库安装在滑座上，通过刀库沿横梁移动刀主轴端，由主轴来实现换刀。

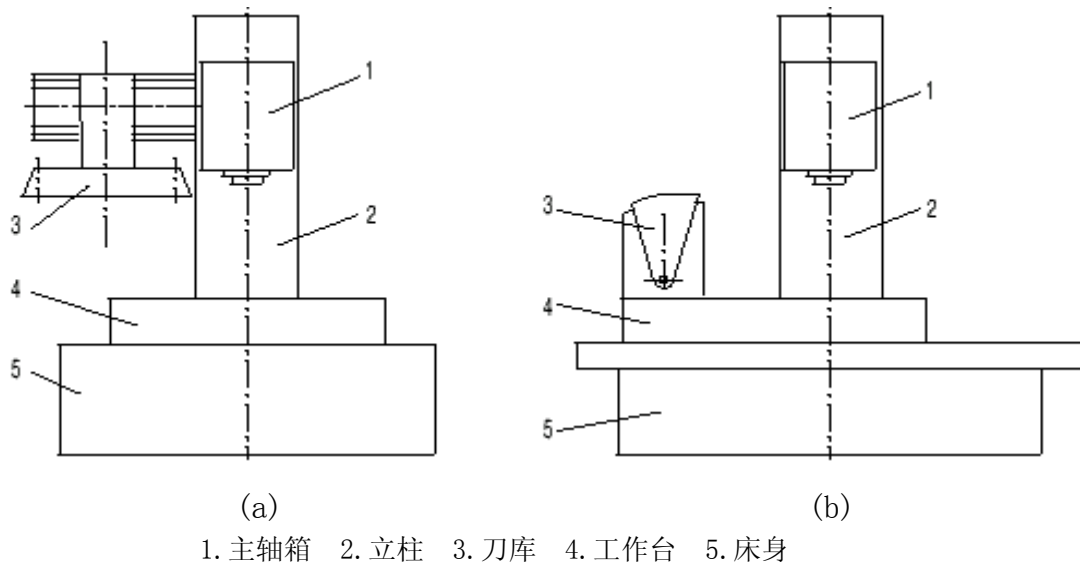


图 2.4 无机械手换刀装置的布置

4. 刀库在横梁上的移动

刀库在横梁上的移动由两种方案：一方案使丝杠螺母传动，采用滚珠丝杠和交流伺服电机；另一方案使液压传动，采用液压滑台。由于液压传动必须由专门设计液压系统机构，来实现刀库的分度和定位。但此机构定位精度不够高，为提高其定位精度可采用交流伺服电机驱动。

2.2.4 基础部件

基础部件是加工中心的基础，由床身、立柱和工作台等组成。主要承受加工中心的静载荷和在加工时产生的切削负荷，因此必须由足够的静、动刚度和精度保持性。

1. 立柱

立柱采用对称结构，其正面设置由导轨，导轨可采用滚动和滑动两种结构，可由用户自行选择。正中间安装由滚珠丝杠，立柱导轨上安装滑座、主轴箱。立柱中空，可安装平衡块，壁上设置有肋板，以增加立柱的强度和刚性。立柱连接在床身上。并且使主轴中心线与 Z 向进给丝杠布置在同一个平面 YOZ 平面内，丝杠的进给驱动力与主切削抗力在同一平面内，因而扭矩很小，容易保证铣削精度和钻孔加工的平行。

2. 床身

床身是加工中心的基础部件，也是加工中心关键元件之一，床身结构的优劣直接影响加工中心的使用性能。因此要求床身设计具有：

1) 很高的精度和精度保持性

在床身上有安装立柱和 X-Y 工作台的工作面，这些面本身精度和相互位置精度要求很高。

2) 具有足够的动静刚度

机床在切削加工时静、动载荷往往都传到床身上，所以床身上受力比较复杂。

3) 较好的热稳定性、抗热变形性、抗振性

在设计上要做到使整机热变形较小、振动小。或使热变形对加工精度影响最小。

床身的设计要受到加工中心总体设计的制约，在满足总体设计的前提下，尽可能做到床身外形、结构合理，肋板布置恰当，保证良好的冷热加工性，减少机床重量，节省材料，提高整个机床的刚度。

3. 工作台

X-Y 向工作台有两种方案：一种是选用南京工艺装备制造厂制造生产的 X-Y 两轴精密数控工作台，数控工作台的上下两层运动台（X 向、Y 向）结构相同。另一种是自行设计，横向（Y 向）滚动导轨和滚珠丝杠安装在横向导轨滑座上。后一种方案各部分均需设计或选择，且床身制造麻烦，周期长，不易实现系列化，单件生产成本也高。而前一种采用已系列化的精密数控工作台，此工作台已经过许多用户使用后的验证，精度较高，而且可根据不同的加工要求，选用不同的精度等级。不仅制造周期短、精度易保证，且可根据用户的不同需要选择不同的型号。故采用前一种方案。

2.2.5 数控系统

数控系统由 CNC 装置、可编程控制器、伺服驱动装置等部分组成。由它来完成对加工中心各部分的控制工作。伺服驱动装置采用 Panasonic 公司生产的 MINASA 系列交流伺服电机驱动器。其他部分的设计方案根据用户需要选择。

2.2.6 辅助装置

辅助装置包括润滑、冷却、排屑、防护、液压、气动和检测系统和平衡装置等部分。这些装置虽然不直接参与切削运动，但对加工中心的加工效率、加工精度和可靠性起着保障作用。

2.3 总体布局

经过对以上运动方案和各部件的设计方案的定性分析比较可确定该小型立式加工中心刀库的总体设计方案为：自动换刀系统采用无机械手换刀，且刀库置于立柱侧面的横梁上。刀库在横梁上的移动采用滚珠丝杠传动和交流伺服电机采用盘形刀库，由槽轮机构实现回转、分度和转位，由交流伺服电机驱动。

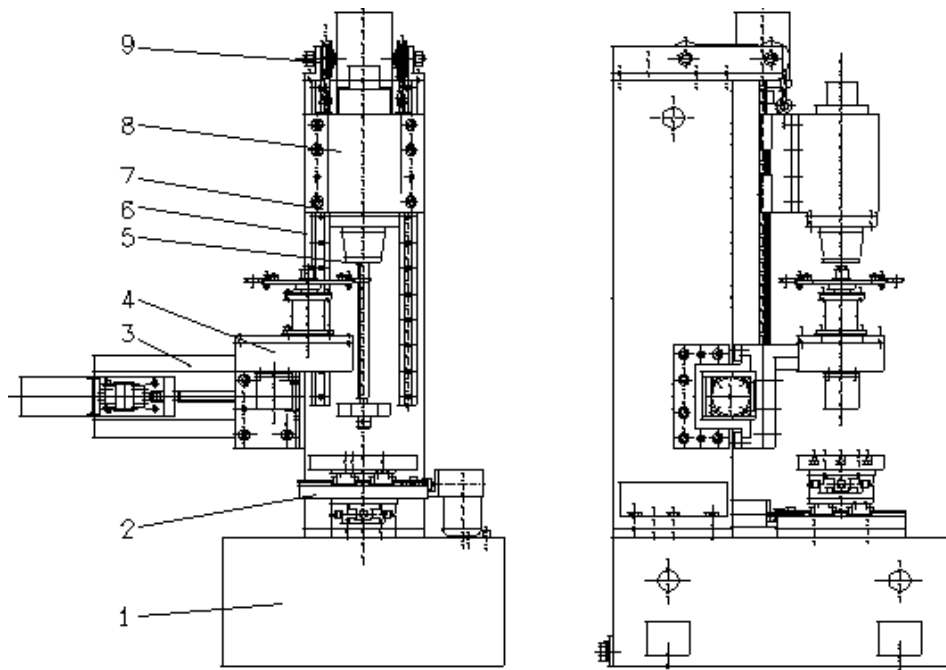
总体结构布局图如图 2.5 所示。

2.4 主要技术参数

根据已知条件，在满足设计要求的前提下，尽量使设计出来的加工中心结构紧凑，占地面积小，确定该加工中心的主要技术性能参数如下：

X、Y、Z 行程 (mm)	150×150×350
Z 向快速移动速度 (m/min)	15
X、Y 向快速移动速度 (m/min)	12
工作台尺寸 (长×宽) (mm×mm)	250×200
主轴转速范围 (r/min)	0~18000

主轴电机功率 (kw)	12
刀库容量 (把)	8
定位精度 (mm)	± 0.025
重复定位精度 (mm)	± 0.005
主轴锥孔	ISO/BT30
换刀时间 (s/次)	8
机床总重量 (kg)	650
外形尺寸 (长 \times 宽 \times 高) (mm \times mm \times mm)	1132 \times 800 \times 1526
最大工作进给速度 (m/min)	1
工作台允许载荷 (kg)	15
钻孔能力 (mm)	10
铣削能力 (cm ³ /min)	80



1. 床身 2. X-Y 数控工作台 3. 刀库移动部件 4. 刀库 5. Z 向进给部件
6. 立柱 7. 滚动导轨副 8. 主轴箱 9. 平衡重部件

图 2.5 总体结构布局示意图

2.5 小结

本章对刀库的设计方案进行了分析、比较，确定了较合理的总体设计方案。还确定了主要技术参。

第 3 章 刀库的设计

刀库是加工中心的象征,是加工中心区别于 NC 镗床和 NC 铣床的本质所在,因此来说,刀库的设计是加工中心设计的核心。由于作者所要设计的加工中心是一个主要用来加工中小批量电子元件等小型零件的小型加工中心,在满足加工要求,经济实用的条件下,应尽量使加工中心的结构紧凑,减小加工中心的外形轮廓尺寸,刀库在满足使用要求的前提下,尽量结构使其简单紧凑,易制造,从而降低生产加工中心的成本。

3.1 刀库的结构设计

在总体设计方案中已确定:自动换刀系统采用无机械手换刀,且刀库置于立柱侧面的横梁上。刀库在横梁上的移动采用滚珠丝杠传动和快速移动电机。采用盘型刀库,由槽轮机构实现回转、分度和转位,由交流伺服电机驱动。刀库的结构设计从以下几个方面进行。

3.1.1 刀库主要参数的确定

1. 刀库容量

本加工中心主要用来加工小型零件或多孔零件上的小孔和小平面,所以刀库上主要安装一些孔加工刀具(如钻头、扩孔钻等)和加工小平面的立铣刀及小直径的面铣刀;同时又考虑到所选用电主轴轴端的尺寸及刀盘直径等的限制;再考虑到主要用于中小批生产及教学实验等,刀具的品种不宜过多,以免造成不必要的浪费和刀库尺寸过大,采用 8 把刀。

2. 刀具最大直径和长度

立铣刀的最大直径定为 40mm,钻头的最大直径定为 10mm,最大工作部分长度定为 150mm。

3. 刀具最大重量为 1kg。

4. 刀具最大运动线速度为 22m/min~30m/min。

3.1.2 刀盘部分的设计

1. 刀盘尺寸的确定

刀盘采用轮辐式结构,这样既能满足使用的要求,又能保证刀盘的强度。在整个设计的过程中要保证各个尺寸在换刀过程不发生干涉即可,刀盘直径为 720mm,其他尺寸见刀盘零件图。

2. 刀爪尺寸的设计

刀爪的外型尺寸根据 30 号刀柄设计。

3.1.3 刀库转动定位机构的设计

1. 刀库转动定位机构的选择

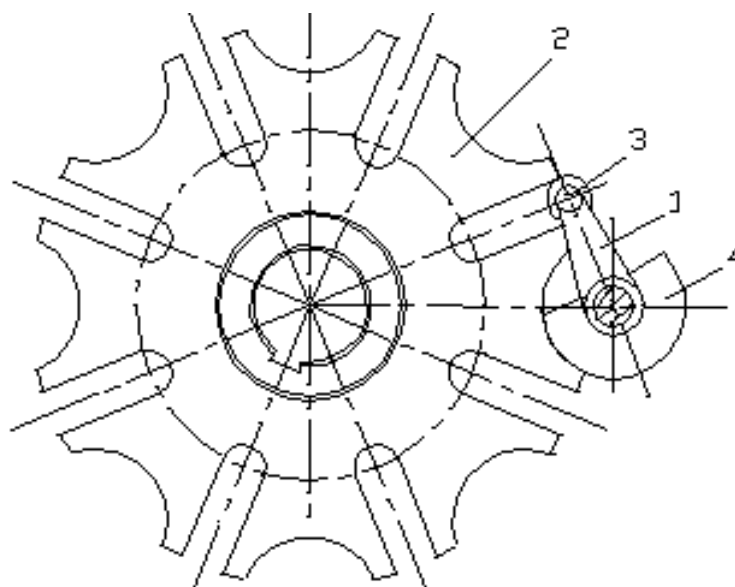
目前圆盘式刀库大多采用的是单头双导程蜗轮蜗杆传动,此传动机构在使用中可随时调整蜗轮蜗杆的传动间隙,实现准确的转位分度,保证刀库工作的可靠性,但此传动机构较复杂,而且单头双导程蜗轮和蜗杆的加工较困难。

槽轮机构具有冲击小，工作平稳性较高，机械效率高，可以在较高转速下工作，且结构简单，易制造等优点，在目前生产的鼓轮式刀库的加工中心机床上很多采用槽轮机构来驱动刀库的分度回转运动。因此本设计采用槽轮机构，来实现刀库的转动、分度和定位。但此机构定位精度不够高，为提高其定位精度可采用带制动器和交流伺服电机，从而可保证较高的定位精度。

2. 槽轮机构的工作原理

槽轮机构（又称马耳他机构）能把主轴的匀速连续运动转换为从动轴的周期性间歇运动，常用于各种分度转位机构中。槽轮机构又三种基本类型：外啮合槽轮机构、内啮合槽轮机构和球面槽轮机构。此刀库采用外啮合槽轮机构。外啮合槽轮机构的工作原理如图 3.1 所示。

外啮合槽轮机构的转臂回转轴线与槽轮回转轴线平行，通常转臂作等速回转，当转臂上的滚子进入槽中，就拨动槽轮作反向转位运动，当滚子从槽中脱出，槽轮即静止不动，并由锁止盘定位。当只有一个滚子时，转臂转一周，槽轮作转一个角度的步进运动，从而实现转位、分度和定位。



1. 转臂 2. 槽轮 3. 滚子 4. 锁止盘

图 3.1 外啮合槽轮机构的工作原理

槽轮机构的设计

1) 槽数 Z 因刀库容量为 8 把刀，所以槽轮槽数 $Z = 8$ 。

2) 槽间角 $2\varphi_2$ $2\varphi_2 = 360^\circ / Z = 360^\circ / 8 = 45^\circ$ (3.1)

3) 槽轮每次转位时曲柄的转角 $2\varphi_1$ $2\varphi_1 = 180^\circ - 2\varphi_2 = 135^\circ$ (3.2)

4) 槽轮与锁止盘间的中心距 L 为了使转为定位机构的结构紧凑，采用 $L = 360\text{mm}$ 。

5) 主动曲柄长度 R_1 $R_1 = L \sin \varphi_2 = 360 \sin 22.5^\circ = 138\text{mm}$ (3.3)

$$6) \text{ 槽轮半径 } R_2 \quad R_2 = L \cos \varphi_2 = 360 \cos 22.5^\circ = 333 \text{ mm} \quad (3.4)$$

$$7) \text{ 圆销半径 } r \quad r = \frac{R_1}{6} = \frac{138}{6} = 23 \text{ mm} \quad (3.5)$$

$$8) \text{ 槽底高 } b \quad b = L - (R_1 + r) - (3 \sim 5) = 194 \text{ mm} \quad (3.6)$$

$$9) \text{ 槽深 } h \quad h = R_2 - b = 139 \text{ mm} \quad (3.7)$$

$$10) \text{ 锁止弧半径 } R_x \quad R_x = R_1 - r - e \text{ 式中, } e = (0.6 \sim 0.8)r, \text{ 且必须大于 } 3 \sim 5 \text{ mm,}$$

$$\text{取 } e = 18 \text{ mm, } R_x = 97 \text{ mm} \quad (3.8)$$

根据以上参数可设计出槽轮和锁止盘的尺寸，如槽轮和锁止盘的零件图所示。

3. 刀库转动电机的选择

刀库的回转驱动电机的选择时，须考虑由摩擦引起的负载转矩和各负载的转动惯量。

1) 负载的转动惯量 J_{LC} 和刀库系统转动惯量 J_C

$$J_{LC} = \sum J_i \left(\frac{n_i}{n_m} \right)^2 \quad (3.9)$$

$$J_C = J_{mc} + J_{LC} \quad (3.10)$$

式中 J_i —各旋转件的转动惯量， kgm^2 ；

n_i —各旋转件的转速， r/min ；

J_{mc} —电机的转动惯量， kgm^2 ；

n_{mc} —电机的转速， r/min 。

$$J_{LC} = (J_{DP} + J_Z + J_{CL} + J_{SP}) \frac{n_C}{n_{mC}} \quad (3.11)$$

式中 J_{DP} 、 J_Z 、 J_{CL} 、 J_{SP} —分别为刀盘、轴、槽轮和锁止盘的转动惯量， kgm^2 ；

n_C —刀盘的转速， r/min 。

$$J_{DP} = \frac{\pi}{32} \times 7.8 \times 10^{-12} D_{DP}^4 L_{DP} \quad (3.12)$$

式中 D_{DP} —刀盘直径， mm ；

L_{DP} —刀盘厚度， mm 。

$$J_{DP} = \frac{\pi}{32} \times 7.8 \times 10^{-12} \times (210^4 - 8 \times 30^4 - 24^4) \times 10 \approx 148 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

同理可求得：

$$J_Z \approx 2.16 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

$$J_{CL} \approx 17.3 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

$$J_{SP} \approx 5.2 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

$$n_c = \frac{V \times 1000}{\pi D_{DP}} = \frac{20 \times 1000}{3.14 \times 260} \approx 24.5r/min \quad (3.13)$$

$$n_{mc} = 3000r/min$$

$$J_{LC} \approx 1.4 \times 10^{-4} \text{kgm}^2$$

$$J_{mc} \geq \frac{J_{LC}}{3} \approx 0.45 \times 10^{-4} \text{kgm}^2$$

初选电机为 MQMA042A1D，其额定转矩为 1.3Nm，最大转矩为 3.82 Nm，转动惯量为 $0.64 \times 10^{-4} \text{kgm}^2$ 。

$$J_c = J_{mc} + J_{LC} = 0.64 + 1.4 = 2.04 \times 10^{-4} \text{kgm}^2$$

2) 摩擦引起的负载转矩计算

由重力产生的摩擦力矩 T_{FC} (Nm)

$$T_{FC} \approx \mu G_c R_{SP} \quad (3.14)$$

式中 μ — 槽轮和锁止盘间摩擦系数，取 0.15

G_c — 刀盘、轴、槽轮等的重量，N；

$$G_c = 25.6 + 12.6 + 9.8 + 8 + 16 = 72\text{N}$$

R_{SP} — 滚子中心到锁止盘中心的距离，31mm，

$$T_{FC} \approx 0.15 \times 72 \times 31 \times 10^{-3} = 0.335\text{Nm}$$

0.335Nm < 1.3Nm (电机的额定转矩)，符合要求。

3) 最大加速转矩 T_{cam}

当电机从静止升至 n_{max} 时

$$T_{cam} = J_c \frac{2\pi n_{cmax}}{60 t_{ca}} \quad (3.15)$$

式中 n_{cmax} — 电机最高转速，3000r/min；

t_{ca} — 加速时间(s) 取 0.2s

$$T_{cam} = 2.04 \times 10^{-4} \frac{2\pi \times 3000}{60 \times 0.2} \approx 0.32\text{Kgm} = 3.2\text{Nm}$$

4) 电机的最大启动转矩

$$T_{Cr} = T_{cam} + T_{FC} \quad (3.16)$$

$$T_{cr} = 3.2 + 0.335 = 3.535\text{Nm}$$

$T_{Cr} = 3.535 \leq 3.82\text{Nm}$ (电机的最大转矩)，符合要求。

最终确定电机型号为 MQMA042A1D，其输出功率为 400W。相应的伺服驱动器选择与电机相匹配的 MQMA043A1A 型号。

3.1.4 轴的设计

轴是机械设备中的重要零件之一。其主要功能是支承作回转运动的零件，并传递运动

和动力. 根据轴的受力情况不同, 可把轴分成心轴、转轴和传动轴 3 种.

轴的常用材料轴的材料主要采用碳素钢和合金钢, 常用材料为优质中碳钢, 如 35、45、50 钢, 这里选取 45 钢为材料.

轴的结构设计轴的合理外形应满足: 轴和装在轴上的零件要有准确的工作位置; 轴上的零件应便于装拆和调整; 轴应具有良好的制造工艺性. 影响轴结构的主要因素包括: 轴的受力性质、大小、方向及分布情况; 轴上零件的布置和固定形式; 所采用的轴承类型和尺寸; 轴的加工工艺等.) 轴的强度计算

由于功率 $P=400W$ 已知, 转速 $n = 375r/min$, β 取 0.5, A 取 110, $[\tau]$ 取 35MPa,

$$\text{则轴径 } d \geq A_3 \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad (3.17)$$

$$d \geq 110 \sqrt[3]{\frac{400}{375}} = 114.4mm$$

式中 d --计算剖面处轴的直径 (mm);

P --轴的传递功率 (KW);

n --轴的转速 (r/min);

故 d 最小应取 115mm. 轴径取 120mm.

校核轴

$$\text{转矩 } T = 9.55 \times 10^6 \frac{P}{n} \quad (3.18)$$

$$T = \frac{9550000 \times 0.4}{375} = 10186N.mm$$

式中 p --功率; n --转速。

圆周力 $F_{t1} = 2T_1/d_1 = 2 \times 10186/120 = 1700N$;

$F_{t2} = 2T_2/d_2 = 2 \times 130822/120 = 681.4N$;

$F_{t3} = 2T_3/d_3 = 620N$;

径向力 $F_{r1} = F_{t1} \tan \alpha = 1488N$;

$F_{r2} = F_{t2} \tan \alpha = 248N$;

$F_{r3} = F_{t3} \tan \alpha = 226N$.

则由受力分析图可知:

$F_{Ay} = 3687.4N$, $F_{Az} = 1342N$,

$F_{By} = 1020.2N$, $F_{Bz} = 372N$,

水平面弯矩 $M_{cx} = 1342 \times 30 = 40260N \cdot mm$;

$M_{dx} = 226 \times 195 = 44070N \cdot mm$;

则 $M_x = \sqrt{M_{cx}^2 + M_{dx}^2} = \sqrt{40260^2 + 44070^2} = 59691 \text{ N} \cdot \text{mm};$

垂直面弯矩 $M_{cy} = 3687.4 \times 30 = 110622 \text{ N} \cdot \text{mm};$

$M_{dy} = 620 \times 195 = 120900 \text{ N} \cdot \text{mm};$

则 $M_x = \sqrt{M_{cy}^2 + M_{dy}^2} = \sqrt{10622^2 + 20900^2} = 21872 \text{ N} \cdot \text{mm};$

求当量弯矩 取修正系数 α 为 0.6

$$M_I = \sqrt{M_x^2 + (\alpha T)^2} = \sqrt{59691^2 + (0.6 \times 10186)^2} = 52371 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{II} = \sqrt{M_x^2 + (\alpha T)^2} = \sqrt{21872^2 + (0.6 \times 10186)^2} = 19384 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

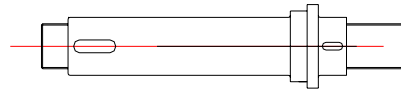
确定危险截面及校核强度

$$\sigma_I = \frac{M_I}{W} \tag{3.19}$$

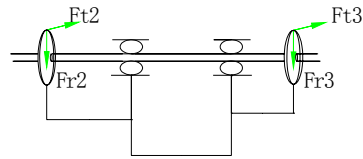
$$\sigma_I = \frac{M_I}{W} = \frac{52371}{0.1d^3} = \frac{52371}{0.1 \times 12^3} = 14.3 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{II} = \frac{M_{II}}{W} = \frac{19384}{0.1d^3} = \frac{19384}{0.1 \times 12^3} = 11.6 \text{ Mpa}$$

由参考文献（机械设计手册）知 $[s_{-1b}] = 60 \text{ Mpa}$ ，满足 $s_e \leq [s_{-1b}]$ 的条件，故设计的轴有足够的强度，并有一定裕度。因此，此轴不必在做修改轴的结构和受力分析如图（3.2）所示：



a) 轴的结构



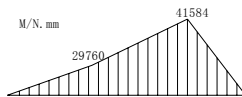
b) 轴受力图



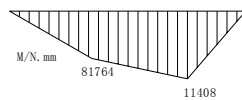
c) 水平面受力图



d) 垂直面受力图



e) 水平面弯矩图



f) 垂直面弯矩图



g) 合成弯矩图



h) 转矩图

图（3.2） 轴的结构和受力分析

3.1.5 滚动轴承的选择计算

1 滚动轴承的类型选择:

选取向心球轴承原则:

- ①轴承负荷
- ②轴承的转速
- ③调心性能
- ④安装与拆卸

这里选取轴承代号为 3182124 的双列向心短圆柱滚子轴承
基本额定动载荷为 255KN;

2 滚动轴承的计算

滚动轴承疲劳寿命的基本计算公式为:

$$L_{10} = (C/P)^\epsilon \quad (3.20)$$

其中 ϵ -- 寿命系数; 球轴承 $\epsilon = 3$, 滚子轴承 $\epsilon = 10/3$;

P -- 当量东载荷 (N);

C -- 基本额定动负荷 (N);

因 $P = X \times F_r + Y \times F_a$, 又 $F_a = 0$, 故 $P = 1488 \times 1 = 1488N$,

其中 X 、 Y 由表 3-89 选的,

$$X = 1, Y = 0;$$

$$C = C_r = 22KN, \quad \epsilon = 3,$$

故其疲劳寿命 $L_{10} = (22 \times 10^3 / 1488)^3 = 3.2 \times 10^3 \times 10^3 \times 10^3 r$;

或由公式 $L_{10h} = 10^3 \times 10^3 / 60n \cdot (C/P)^\epsilon \quad (3.21)$

得 $L_{10h} = 10^3 \times 10^3 / 60 \times 122 \cdot (22 \times 10^3 / 1488)^3 \approx 441518h$

因为所设计轴的强度裕度不大, 此轴不必在做修改

3.1.6 键的选用与计算

因为键是动联接, 所以选用普通的平键
轴上键的选择

由参考文献 (机械设计基础课程设计) 知:

键的宽度 $b = 28mm$, 高 $h = 16mm$, 长 $L = 50mm$

验算键的强度

键的强度公式为: $\sigma_{fy} = \frac{2T}{dkL} \quad (3.22)$

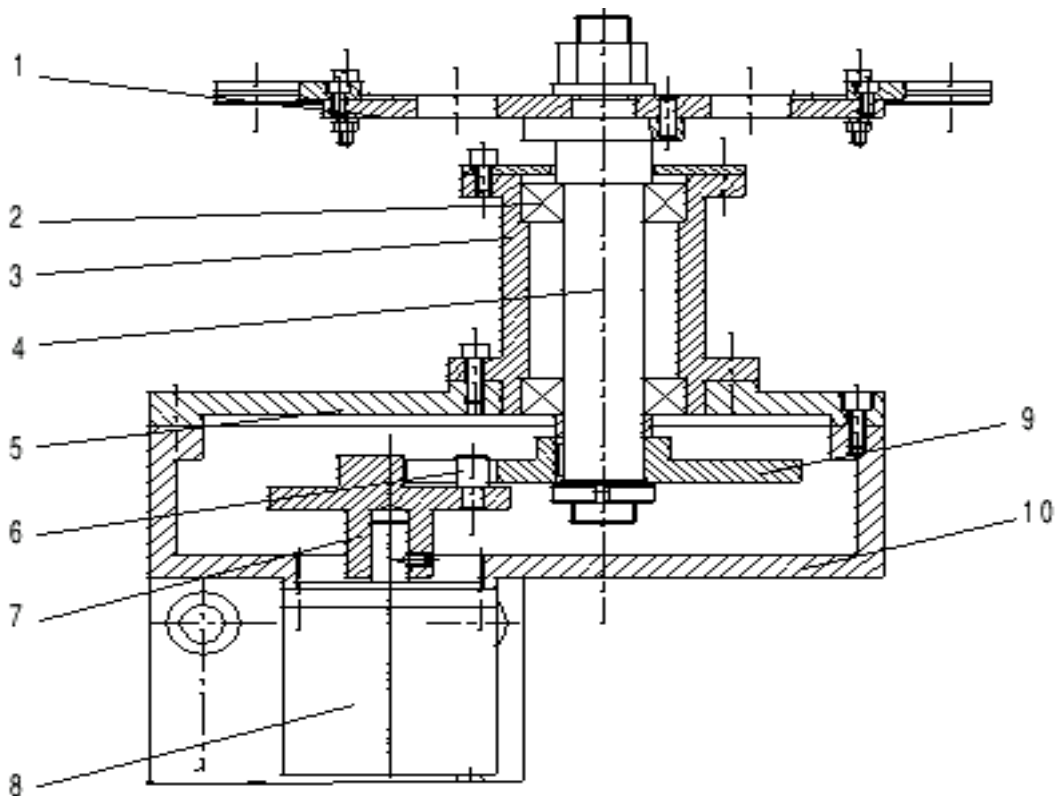
$$\sigma_{fy} = \frac{2T}{dkL} = \frac{2 \times 4600}{15 \times 3 \times 50} = 11.4 \text{ Mpa}$$

由参考文献 (机械设计) 知: $[\sigma_{fy}] = 100 \text{ Mpa}$ 即 $\sigma_{fy} = 11.4 \text{ Mpa} \leq [\sigma_{fy}] = 100 \text{ Mpa}$ 键的强度足
够

3.1.4 刀库的支承部分的设计

刀库的支承部分包括刀库箱体、箱盖、轴、轴承、轴承套等, 见图 3.2 刀库总装图。
各部分的具体结构尺寸见其零件图。

刀库主要由刀盘部件 1、轴承 2、轴承套 3、轴 4、箱盖 5、滚子 6、锁止盘 7、
电机 8、槽轮 9、箱体 10 和一些连接螺钉、螺母、销、键等组成。



1. 刀盘部件 2. 轴承 3. 轴承套 4. 轴 5. 箱盖 6. 滚子
7. 锁止盘 8. 电机 9. 槽轮 10. 箱体

图 3.3 刀库总装图

3.2 刀库移动部分的设计

3.2.1 刀库支承横梁和导轨的设计

横梁支撑着刀库的整个重量，因此，它的强度和刚度要求较高。且为了实现刀库的移动，在横梁上要设计可使刀库移动的导轨，根据床身的整体高度及立柱的形状来考虑，横梁的端面与立柱的联接断面应成长方形长、宽分别定为 240mm、180mm。此连接处的面板厚度为 30mm 与立柱用 6 个直径为 $\Phi 25\text{mm}$ 的螺栓来连接，由两个 $\Phi 16\text{mm}$ 的圆柱销定位，在装配时配作。

在整个设计过程中，因刀库的行程 160mm，再加上滑台的尺寸和刀盘尺寸等，静导轨的总长度定为 480mm，两端可各装一减振器，目的是为了消除滑台到两端时的冲击力。考虑刀库移动电机和丝杠的安装尺寸等，静导轨的高度定为 130mm，宽度定为 192mm，其它尺寸见横梁零件图。考虑到刀库支承部分的尺寸，滑座和动导轨的长度定为 140mm，考虑静导轨的宽度和刀库支承部分在该方向的尺寸滑座的宽度定为 240mm，滑座的高度定为 50mm。

为了减轻它自身的重量，将其铸造成中空的。同时，为了加强它的刚度，还设有加强肋板。导轨的形式有滑动导轨和滚动导轨两种形式。此处，仅设计滑动导轨，滑动导轨采用双矩形形式的整体 HT300 铸铁导轨，并采用中频淬火，淬火后的硬度为 50~55HRC。

导轨的精度要求为：平面度为 0.015mm，长方向的直线度为 0.01mm，侧导向面的直线度为 0.015mm，侧导向面之间的平行度为 0.015mm，侧导向面对导轨底面的垂直度为 0.01mm，导轨面对横梁安装基面的垂直度为 0.01mm。

3.2.2 刀库移动丝杠和电机的选择

要实现刀库的移动，采用滚珠丝杠和快速移动电机驱动。前者速度高，传动平稳，且定位精度高。后者结构简单，安装方便，传动平稳，但定位精度较低，还需专门的液压系统。该加工中心采用滚珠丝杠和交流伺服电机驱动方式。

1. 刀库移动丝杠

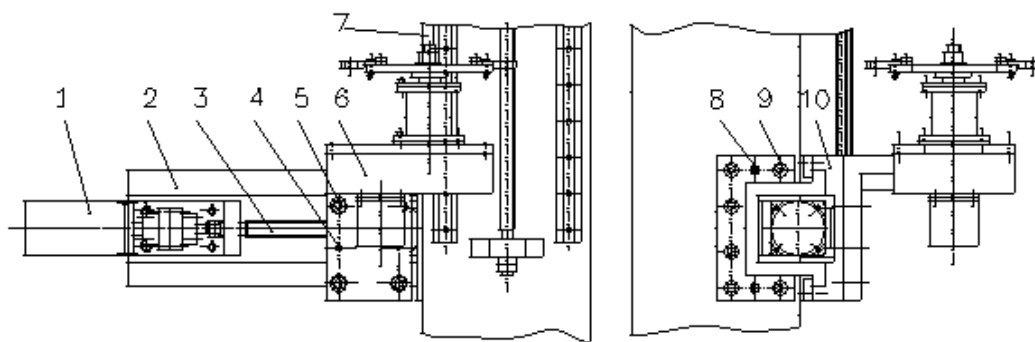
刀库移动丝杠的选取和 X—Y 向进给系统丝杠选取类似，计算不再赘述。选取滚动丝杠副型号为 FFB2505—2—P3/385×215，各部分的结构尺寸见横梁滚珠丝杠零件图。支承方式采用两端固定，两端各采用一角接触球轴承 7602020TVP。

2. 伺服电机

伺服电机的选择计算方法同 X—Y 向进给系统电机类似，计算不再赘述。选取电机型号 MSMA102A1C，伺服驱动器型号 MSMA103A1A。丝杠与电机之间采用弹性膜片联轴器 DML—01。

3.3 刀库、横梁的安装

刀库和横梁的安装见图 3.3



1. 刀库移动电机 2. 横梁 3. 刀库移动丝杠 4、8. 定位销
5、9 连接螺钉 6. 刀库 7. 立柱 10. 横梁滑座

图 3.4 刀库、横梁的安装

3.4 小结

本章对刀库进行了设计和计算。确定了刀库的主要参数，对刀盘部分的各零件进行了设计，对刀库的槽轮转位分度机构进行了设计和计算。还计算选择了刀库回转交流伺服电机和刀库移动滚珠丝杠和交流伺服电机。刀库回转交流伺服电机型号为 MQMA042A1D，相匹配的伺服驱动器的型号 MQMA043A1A。刀库移动滚珠丝杠副型号为 FFB2505—2—T3/385×215。刀库移动交流伺服电机型号 MSMA102A1C，伺服驱动器型号 MSMA103A1A。

结 论

作者开发设计了一种体积小、结构紧凑、价格较低、生产周期短的小型立式加工中心刀库。获得如下结论：

1) 通过对国内外同类产品进行市场调研、技术调研、社会调研、需求分析和可行性分析，了解了该产品的发展现状、发展方向和设计开发该产品的必要性和可行性。通过对未来的发展状况和市场发展情况的预测和估计，预测该产品具有很大的潜市场，能够为企业创造可观的利税，经济效益显著，具有推广应用价值。

2) 通过对该加工中心刀库结构原理方案和各组成部分设计方案的优缺点分析，确定了总体技术方案和主要技术性能参数。

3) 刀库为盘式结构，容量为 8 把刀，采用槽轮机构实现分度转位，结构简单，制造方便，价格低。通过刀库在横梁上移动至主轴端来实现换刀。

4) 用 CAD 软件绘制出了总体装配图、各部件、组件装配图及主要非标准零件的零件图。

由于作者水平和时间有限，在设计中还有许多方面需要完善，在产品投产之前，还需对加工中心设计进行仿真，对主要零部件进行静、动态有限元分析、优化和工艺设计等，以确保产品结构设计正确性和可靠性。

致 谢

“岁月如箭，时光如梭”，四年大学生活犹如夜空中的流星转瞬即逝。回顾这段人生中最美好的时光，想想自己的得失，不仅发人深思。

在过几个星期，我们就要各奔东西，大江南北，长城内外，都会有同学们的身影。俗话说“失去的才是最美好的”，的确是这样的，这是我想每个人心里也许都会发出这样的感慨！在我们心中不仅是同学，更重要的是在四年当中无私培育我们的恩师。他们不辞辛苦的工作，无私的奉献，为把我们培养成一个合格的大学生付出了艰辛的努力，我们由衷的感谢他们，真诚地道一句：老师，您辛苦了！

毕业设计是我们在大学期间完成的最后一次作业，也是我们走向工作岗位的桥梁，在此过程中，各个方面我们都会得到锻炼和提高，特别是实践与动手能力的培养。理论与实践相结合，这是我们应当大力提倡的学习方法，而这次毕业设计为我们提供了一个舞台，为我们快速进入工作状态提供了一次难得的机会。

在这次毕业设计中，我的指导老师韩翔老师为我们提供了极大的帮助与指导，为我们顺利完成这次毕业设计打下了坚实的基础。李老师的谆谆教导和敬业精神、无私的奉献精神与严谨的治学精神深深感染了我们每一个人。在这次设计中，我们不仅学到了知识，更重要的收获是积极乐观的态度，做人的道理和严谨的治学精神与团结协作的团队精神，这对我们以后来说无疑是一笔巨大的财富。

允许我再一次向李老师以及在毕业设计当中给予我们帮助的老师和我的同组成员表示诚挚的谢意！

参考文献

- [1] 廉元国,张永洪. 加工中心设计与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995. 3
- [2] 惠延波,沙杰. 加工中心的数控编程与操作技术 [M]. 北京: 机械工业出版社 2000. 12
- [3] 励德瑛. 加工中心的发展趋势 [J]. 机车车辆工艺, 1994, 6
- [4] 徐正平. CIMT2001 加工中心评述 [J]. 制造技术与机床, 2001, 6
- [5] 刘利. FPC-20VT 型立式加工中心[J]. 机械制造, 1994, 7
- [6] 李洪. 实用机床设计手册 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1999. 1
- [7] 刘跃南. 机械系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998. 8
- [8] Panasonic 交流伺服电机驱动器 MINASA 系列使用说明书
- [9] 成大先. 机械设计手册第四版第 2 卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001. 11
- [10] 成大先. 机械设计手册第四版第 3 卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001. 11
- [11] 彭文. 槽轮机构在加工中心鼓轮式刀库上的应用 [J]. 机械工程师, 1999, 1
- [12] Edward R C. Finite element analysis in manufacturing engineering. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [13] Martins P A F, Barata M J M. Model 3—a Three-Dimensional Mesh Generation [J]. Computer & Structure, 1992.
- [14] 邱宣怀. 机械设计 北京: 高等教育出版社 2000: 194-267
- [15] 张建中. 机械设计基础课程设计 徐州: 中国矿业大学出版社 1999. 6

翻译部分

The Numerical Control Lathes

First numerical control system development summary brief history and tendency

In 1946 the first electronic accounting machine was born in the world, this indicated the humanity created has been possible to strengthen and partially to replace the mental labor the tool. It with the humanity these which in the agriculture, the industry society created only is strengthens the physical labor the tool to compare, got up the quantitive leap, entered the information society for the humanity to lay the foundation.

After 6 years, in 1952, computer technology applied to the engine laths , the first numerical control engine laths were born in US. From this time on, the traditional engine laths has had the archery target change. Since nearly half century, the numerical control system has experienced two stages and six generation of development.

1.1 Numerical control (NC) stage (1952 ~ 1970)

The early computer operating speed is low, was not big to then science computation and the data processing influence, but could not adapt the engine laths real-time control request. The people can not but use numeral logic circuit "to build" to become an engine laths special purpose computer to take the numerical control system, is called the hardware connection numerical control (HARD-WIRED NC), Jian Chengwei numerical control (NC). Along with the primary device development, this stage has had been through repeatedly three generations, namely 1952 first generation of -- electron tube; 1959 second generation of -- transistor; 1965 third generation -- small scale integration electric circuit.

1.2 Computer numerical control (CNC) stage (in 1970 ~ present)

In 1970, the general minicomputer already appeared and the mass production. Thereupon transplants it takes the numerical control system the core part, from this time on entered the computer numerical control (CNC) the stage ("which should have computer in front of the general" two characters to abbreviate). In 1971, American INTEL Corporation in the world first time the computer two most cores part -- logic units and the controller, used the large scale integrated circuit technology integration on together the chip, called it the microprocessor (MICROPROCESSOR), also might be called the central processing element (to be called CPU).

The microprocessor is applied to 1974 in the numerical control system. This is because minicomputer function too strong, controlled an engine laths ability to have wealthily (therefore once uses in controlling the multi- Taiwan engine laths at that time, called it group control), was inferior to used the microprocessor economy to be reasonable. Moreover then small machine reliability was not ideal. The early microprocessor speed and the function although insufficiently are also high, but may solve through the multi-processor structure. Because the microprocessor is the general-purpose calculator core part, therefore still was called the computer numerical control.

In 1990, PC machine (personal computer, domestic custom had called microcomputer) the performance has developed to the very high stage, may satisfiedly take the numerical control system core part the request. The numerical control system henceforth entered based on the PC stage.

In brief, the computer numerical control stage has also experienced three generations. Namely 1970 fourth generation of -- minicomputer; 1974 five dynasties -- microprocessor and 1990 sixth generation -- (overseas was called PC-BASED) based on PC.

Also must point out, although overseas already renamed as the computer numerical control (namely CNC).

Also must point out, although overseas already renamed as the computer numerical control (namely CNC), but our country still the custom called the numerical control (NC). Therefore we daily say "numerical control", the materially already was refers to "computer numerical control".

1.3 the numerical control future will develop tendency

open style continues to, to develop based on the PC sixth generation of direction The software and hardware resources has which based on PC are rich and so on the characteristic, the more numerical controls serial production factory can step onto this path. Uses PC machine to take at least its front end machine, processes the man-machine contact surface, the programming, the association

Question and so on net correspondence, undertakes the numerical control duty by the original system. PC machine has the friendly man-machine contact surface, will popularize to all numerical controls system. The long-distance communication, the long-distance diagnosis and the service will be more common.

1.3.2 approaches and the high accuracy development

This is adapts the engine laths to be high speed and the high accuracy direction need to develop.

1.3.3 develops to the intellectualized direction

Along with the artificial intelligence in the computer domain unceasing seepage and the development, the numerical control system intellectualized degree unceasingly will enhance.

(1) applies the adaptive control technology

The numerical control system can examine in the process some important information, and the automatic control system related parameter, achieves the improvement system running status the goal.

(2) introduces the expert system instruction processing

The skilled worker and expert's experience, the processing general rule and the special rule store in the system, take the craft parameter database as the strut, the establishment has the artificial intelligence the expert system.

(3) introduces the breakdown to diagnose the expert system

(4) intellectualized numeral servo drive

May through the automatic diagnosis load, but the automatic control parameter, causes the actuation system to obtain the best movement.

Second, engine laths numerical control transformation necessity

2.1 microscopic looks at the transformation the necessity

From on microscopic looked below that, the numerical control engine laths has the prominent superiority compared to the traditional engine laths, moreover these superiority come from the computer might which the numerical control system contains.

2.1.1 may process the traditional engine laths cannot process the curve, the curved surface and so on the complex components.

Because the computer has the excellent operation ability, may the instant accurately calculate each coordinate axis instant to be supposed the movement physiological load of exercise, therefore may turn round the synthesis complex curve or the curved surface.

2.1.2 may realize the processing automation, moreover is the flexible automation, thus the efficiency may enhance 3 ~ 7 times compared to the traditional engine laths.

Because the computer has the memory and the memory property, may the procedure which inputs remember and save, then the order which stipulated according to the procedure automatic carries out, thus realization automation. The numerical control engine laths so long as replaces a procedure, may realize another work piece processing automation, thus causes the single unit and the small batch of production can automate, therefore is called has realized "flexible automation".

processings components precision high, size dispersion degree small, makes the assembly to be easy, no longer needs "to make repairs".

may realize the multi- working procedures centralism, reduces the components in engine laths between frequent transporting.

has auto-alarm, the automatic monitoring, automatic compensation and so on the many kinds of autonomy function, thus may realize long time nobody to safeguard the processing.

2.1.2 advantage which derives by above five.

For example: Reduced worker's labor intensity, saved the labor force (a person to be possible to safeguard the multi- Taiwan engine laths), reduced the work clothes, reduced the new product trial manufacturing cycle and the production cycle, might to the market demand make rapid reaction and so on.

Above these superiority are the predecessor cannot imagine, is an extremely significant breakthrough. In addition, the engine laths numerical control carries out FMC (flexible manufacture unit), FMS (flexible manufacture system) as well as CIMS (computer integration manufacture system) and so on the enterprise becoming an information based society transformation foundation. The numerical control technology already became the manufacturing industry automation the core technology and the foundation technology.

2.2 great watches the transformation the necessity

From on macroscopic looked that, the industry developed country armed forces, the airplane weapon industry, in the end of the 70's, at the beginning of the 80's started the large-scale application numerical control engine laths. Its essence is, uses the information technology to the traditional industry (including the armed forces, airplane weapon industry) carries on the technological transformations. Except that uses outside the numerical control engine laths, FMC, FMS in the manufacture process, but also includes in the product development carries out CAD, CAE, CAM, the hypothesized manufacture as well as carries out MIS in the production management (management information system), CIMS and so on. As well as increases the information technology in its production product, including artificial intelligence and so on content. Because uses the information technology to the country foreign troops, the airplane weapon industry carries on the thorough transformation (to call it becoming an information based society), finally causes them the product in the international military goods and in the goods for civilian use market the competitive power greatly is the enhancement. But we in the information technology transformation tradition industry aspect compared to the developed country to fall behind approximately for 20 years. Like in our country engine laths capacity, numerical control engine laths proportion (numerical control rate) to 1995 only then 1.9%, but Japan has reached 20.8% in 1994, therefore every year has the massive mechanical and electrical products import. This also on from on macroscopic explained the engine laths numerical control transformation necessity.

Thord, the numerical control transformation content and superiorly lacks

3.1 Transformation industry starting

In US, Japan and Germany and so on the developed country, their engine laths transforms took the new economical growth profession, thrives abundantly, is occupying the golden age. As a result of the engine laths as well as the technical unceasing progress, the engine laths transformation is "the eternal" topic. Our country's engine laths transformation industry, also enters from the old profession to by the numerical control technology primarily new profession. In US, Japan, Germany, have the broad market with the numerical control technological transformations engine laths and the production line, has formed the engine laths and the production line numerical control transformation new profession. In US, the engine laths transformation industry is called the engine laths regeneration (Remanufacturing) industry. Is engaged in the regeneration industry famous company to include: The Bertsche engineering firm, the ayton engine laths company, Devlieg-Bullavd (are valuable) serves the group, the US equipment company and so on. The American valuable company has set up the company in China. In Japan, the engine laths transformation industry is called the engine laths to reequip (Retrofitting) industry. Is engaged in the reequipment industry famous company to include: Big indentation project group, hillock three mechanical companies, thousand substitute fields labor machine company, wild engineering firm, shore field engineering firm, mountain this engineering firm and so on.

3.2 Numerical control transformation content

The engine laths and the production line numerical control transformation main content has following several points:

First is extensively recovers the function, to the engine laths, the production line has the breakdown partially to carry on the diagnosis and the restoration;

Second is NC, the addend reveals the installment on the ordinary engine laths, or adds the numerical control system, transforms the NC engine laths, the CNC engine laths;

Third is renovates, for increases the precision, the efficiency and the automaticity, to the machinery, the electricity partially carries on renovates, reassembles the processing to the machine part, extensively recovers the precision; Does not satisfy the production request to it the CNC system to carry on the renewal by newest CNC;

Fourth is the technology renews or the technical innovation, for enhances the performance or the scale, or in order to use the new craft, the new technology, carries on the big scale in the original foundation the technology to renew or the technical innovation, the great scope raises the level and the scale renewal transformation. The new electrical system transforms after,

how carries on the debugging as well as the determination reasonable approval standard, also is the technology preparatory work important link. The debugging work involves the machinery, the hydraulic pressure, the electricity, the control, and so on, therefore must carry on by the project person in charge, other personnel coordinate. The debugging step may conform to simplicity to numerous, from infancy to maturity, carries on from outside to in, after also may the partial overall situation, after first the subsystem the

3.3 The numerical control transformation superiorly lacks

3.3.1 reduced investment costs, the date of delivery are short

With purchases the new engine laths to compare, may save 60% ~ 80% expense generally, the transformation expense is low. Large-scale, the special engine laths especially is specially obvious. The common large-scale engine laths transforms, only spends the new engine laths purchase expense 1/3, the date of delivery is short. But some peculiar circumstances, like the high speed main axle, the tray automatic switching unit manufacture and the installment too requires a lot of work, costs a great deal of money, often transforms the cost to enhance 2 ~ 3 times, with purchases the new engine laths to compare, only can economical invest about 50%.

3.3.2 machine capability stable are reliable, the structure is limited

Uses foundation and so on lathe laths, column all is heavy but the firm casting component, but is not that kind of welding component, after the transformation engine laths performance high, the quality is good, may take the new equipment continues to use many years. But receives the original mechanism the limit, not suitably makes the unprecedented transformation.

3.3.3 familiar understood the equipment, is advantageous for the operation service

When purchases the new equipment, did not understand whether the new equipment can satisfy its processing request. The transformation then otherwise, may precisely calculate the engine laths the processing ability; Moreover, because many years use, the operator already understood to the engine laths characteristic, uses and services the aspect to train the time in the operation short, effective is quick. The transformation engine laths as soon as installs, may realize the capacity load revolution.

3.3.4 may fully use the existing condition

May fully use the existing ground, does not need to like buys when the new equipment such to have reto construct the ground.

3.3.5 may use the newest control technology

enhances the production equipment the automated level and the efficiency, improves the equipment quality and the scale, alters to the old engine laths now the horizontal engine laths.

Fourth, numerical control system choice

When the numerical control system mainly has three kind of types, the transformation, should act according to the special details to carry on the choice.

4.1 Step-by-steps the open system which the electrical machinery drives

This system servo drive mainly is step-by-steps the electrical machinery, the power step-by-steps the electrical machinery, the battery solution pulse motor and so on. Entering sends out which by the numerical control system for instruction pulse, after the actuation electric circuit control and the power enlargement, causes to step-by-step the electrical machinery rotation, through gear vice- and ball bearing guide screw vice- actuation executive component. So long as the control command pulse quantity, the frequency as well as the circular telegram order, then may control the executive component movement the displacement quantity, the speed and the heading. This kind of system does not need the physical location and the velocity feedback which obtains to the input end, therefore called it the open system, this system displacement precision mainly decided in step-by-steps the electrical machinery angular displacement precision, transmission part and so on gear guide screw pitches the precision, therefore the system displacement precision is low.

This system structure simple, debugging service convenient, work reliable, cost low, is easy to reequip successfully.

4.2 The asynchronous motor or the direct current machine drive, diffraction grating survey feedback closed loop numerical control system

This system and the open system difference is: Physical location feedback signal which by position detector set and so on the diffraction grating, induction synchromesh obtains, carries on the comparison as necessary with the given value, two interpolations enlargements and the transformation, the actuation implementing agency, by the speed which assigns turns towards the elimination deviation the direction movement, until assigns the position and the feedback physical location interpolation is equal to the zero. The closed loop enters for the system Enters for the system complex in the structure compared to the split-ring, the cost is also high, requests strictly to the environment room temperature. The design and the debugging is all more difficult than the open system. But may obtain compared to the split-ring enters for a system higher precision, quicker speed, actuation power bigger characteristic target. May act according to the product specification, decided whether uses this kind of system.

4.3 The direct current servo electrical machinery drives, encoder feedback semi-closure link numerical control system

Half closed-loop system examination part installs in among passes in the moving parts, indirectly surveys the executive component the position. It only can compensate a system ring circuit interior part of part the error, therefore, its precision compared to closed-loop system precision low, but its structure and the debugging all compares the closed-loop system to be simple. In makes the angular displacement examination part and the speed examination part and the servo electrical machinery time a whole then does not need to consider the position detector set installs the question.

The current production numerical control system company factory quite are many, overseas famous company like German SIEMENS Corporation, Japanese FANUC Corporation; Native corporation like China Mount Everest Corporation, Beijing astronautics engine laths numerical control system group company, Central China numerical control company and Shenyang upscale numerical control country engineering research center.

When choice numerical control system mainly is each kind of precision which the engine laths must achieve after the numerical control transformation, actuates the electrical machinery the power and user's request.

Fifth in the numerical control transformation the main mechanical part reequips the discussion

A new numerical control engine laths, must achieve in the design that, Has the high static dynamic rigidity; Movement vice- between friction coefficient small, the transmission is ceaseless; The power is big; Is advantageous for the operation and the service. When engine laths numerical control transformation should meet the above requirements as far as possible. Cannot think the numerical control installment and the ordinary engine laths connects in has met the numerical control engine laths requirements together, but also should carry on the corresponding transformation to the major component to enable it to achieve the certain design request, can obtain the anticipated transformation goal.

5.1 skids guide rail

Said to the numerical control lathe that, the guide rail besides should have the conventional lathe guidance precision and the technology capability, but also must have good bears the friction, the attrition characteristic, and the reduction but sends the dead area because of the friction drag. At the same time must have the enough rigidity, by reduces the guide rail to distort to processes the precision the influence, must have the reasonable guide rail protection and the lubrication.

5.2 gear

The common engine laths gear mainly concentrates in the headstock and the gear box. In order to guarantee the transmission precision, on the numerical control engine laths uses the gear precision class is all higher than the ordinary engine laths. Must be able to achieve the ceaseless transmission in the structure, thus transforms time, the engine laths main gear must satisfy the numerical control engine laths the request, by guarantees the engine laths processing precision.

5.3 skids the guide screw and the ball bearing guide screw

The guide screw transmission relates directly to the transmission chain precision. The guide screw selects mainly is decided requests and drives the torque request in the job precision. Is not used by job precision request Gao Shike skids the guide screw, but should inspect the original guide screw attrition situation, like the pitch error and the pitch accumulative error as well as matches the nut gap. The ordinary circumstances skid the guide screw to be supposed not to be lower than 6 levels, the nut gap oversized then replaces the nut. Uses skids the guide screw relative ball bearing guide screw price to be low, but satisfies the precision high components processing with difficulty.

The ball bearing guide screw rubs loses slightly, the efficiency is high, its transmission efficiency may above 90%; Precision high, the life is long; When start moment of force and movement the moment of force approaches, may reduce the electrical machinery to start the moment of force. Therefore may satisfiedly compare the high accuracy components processing request.

5.4 safe protection

The effect must take the security as a premise. Transforms in the engine laths must take the corresponding measure according to the actual situation, cuts noticeable. The ball bearing guide screw vice- is the precision part, when the work must take strict precautions against the dust is specially the scrap and the hard sand grains enters the roller conveyer. On longitudinal guide screw also coca overall sheet iron safety mask. The big carriage with skids two end surfaces which the guide rail contacts to have to seal, prevented absolutely the flinty granulated foreign matter enters the sliding surface damage guide rail.

Sixth, After the engine laths electrical system transformation, to operates, the programmers inevitably brings the new request. Therefore ahead of time carries on new system knowledge training to the operator and the programmers to be extremely important, after otherwise will affect the transformation the engine laths rapid investment production. The training content should include the new operation kneading board disposition, the function, the instruction meaning generally; New system functional scope, application method and with old system

difference; Maintenance maintenance request; Programming standard and automated programming and so on. The key point is makes, gets a good grasp of the operating manual and the programming instruction booklet.

the numerical control transforms se Transforms the scope according to each equipment differently, must beforehand design the connection partial transformations, if transforms completely, should design the electro-mechanical transformation connection, the operation kneading board control and the disposition, the interconnection partial contacts, the parameter measuring point, services the position and so on, the request operates and services conveniently, reasonable, the line moves towards, center the small junction smoothly few, the strong and the weak electrical noise is smallest, has the suitable allowance and so on. Partial transformation, but also needs to consider the new old system the performance match, the voltage polarity and the size transformation, install the position, the digital-analog conversion and so on, when the necessity must manufacture the transformation connection voluntarily.

veral examples

1st, transforms the X53 milling machine with SIEMENS 810M

In 1998, the company invested 200,000 Yuan, with German Simens the 810M numerical control system, the 611A exchange servo drive system sds was the X53 milling machine carries on X, Y, the Z three axle numerical control transformation to a company's model; Retained the original main axle system and the cooling system; The transformation three axle has used the roller lead screw and the gear drive organization on the machinery. The entire transformation work including the machine design, the electrical design, the PLC procedure establishment and the debugging, the engine laths overhaul, finally is the entire machine installment and the debugging. After the milling machine transforms, processing effective stroke X/Y/The Z axis respectively is 88.0/270/28 billion mm; Maximum speed X/Y/The Z axis respectively is 5000/1500/800 mm/Min; Manual speed X/Y/The Z axis respectively is 3000/1000/500 mm/Min; The engine laths processing precision achieves ± 0.001 mm. The engine laths three coordinates linkage may complete each kind of complex curve or the curved surface processing.

2nd, transforms the C6140 lathe with GSK980T and the exchange servo drive system sds

In 2000, with Guangzhou numerical control plant production GSK980T numerical control system, the DA98 exchange servo unit and 4 locations automatic tool rests to an electrical machinery branch factory C6140 lathe X, the Z two axes carries on the numerical control transformation; Retained the original main axle system and the cooling system; The transformation two axes have used the roller lead screw and with the ambulacrum transmission system on the machinery. Entire transformation work including machine design, electrical

design, engine laths overhaul and entire machine installment and debugging. After the lathe transforms, processing effective stroke X/The Z axis respectively is 3.90/73 million mm; Maximum speed X/The Z axis respectively is 120.0/3 million mm/Min; The manual speed is 400mm/Min; Manual is fast is X/The Z axis respectively is 120.0/3 million mm/Min; The engine laths smallest migration unit is 0.001mm.

3rd, transforms the X53 milling machine with SIEMENS 802S

In 2000, the company invests 120,000 Yuan, with German Simens the 802S numerical control system, step-by-steps the actuation system is the X53 milling machine carries on X, Y, the Z three axle numerical control transformation to company's another model; Retained the original main axle system and the cooling system; The transformation three axle has used the roller lead screw and the gear drive organization on the machinery. The entire transformation work including the machine design, the electrical design, the engine laths overhaul, finally is the entire machine installment and the debugging. After the milling machine transforms, processing effective stroke X/Y/The Z axis respectively is 63.0/240/28 billion mm; Maximum speed X/Y/The Z axis respectively is 3000/1000/600 mm/Min; Manual enters for speed X/Y/The Z axis respectively is 200.0/800/5 billion mm/Min; The smallest motion unit is 0.001mm.

数控机床

1、数控系统发展简史及趋势

1946 年诞生了世界上第一台电子计算机，这表明人类创造了可增强和部分代替脑力劳动的工具。它与人类在农业、工业社会中创造的那些只是增强体力劳动的工具相比，起了质的飞跃，为人类进入信息社会奠定了基础。

6 年后，即在 1952 年，计算机技术应用到了机床上，在美国诞生了第一台数控机床。从此，传统机床产生了质的变化。近半个世纪以来，数控系统经历了两个阶段和六代的发展。

1.1、数控（NC）阶段（1952~1970 年）

早期计算机的运算速度低，对当时的科学计算和数据处理影响还不大，但不能适应机床实时控制的要求。人们不得不采用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统，被称为硬件连接数控（HARD-WIRED NC），简称为数控（NC）。随着元器件的发展，这个阶段历经了三代，即 1952 年的第一代—电子管；1959 年的第二代—晶体管；1965 年的第三代—小规模集成电路。

1.2、计算机数控（CNC）阶段（1970 年~现在）

到 1970 年，通用小型计算机业已出现并成批生产。于是将它移植过来作为数控系统的核心部件，从此进入了计算机数控（CNC）阶段（把计算机前面应有的“通用”两个字省略了）。到 1971 年，美国 INTEL 公司在世界上第一次将计算机的两个最核心的部件—运算器和控制器，采用大规模集成电路技术集成在一块芯片上，称之为微处理器（MICROPROCESSOR），又可称为中央处理单元（简称 CPU）。

到 1974 年微处理器被应用于数控系统。这是因为小型计算机功能太强，控制一台机床能力有富裕（故当时曾用于控制多台机床，称之为群控），不如采用微处理器经济合理。而且当时的小型机可靠性也不理想。早期的微处理器速度和功能虽还不够高，但可以通过多处理器结构来解决。由于微处理器是通用计算机的核心部件，故仍称为计算机数控。

到了 1990 年，PC 机的性能已发展到很高的阶段，可以满足作为数控系统核心部件的要求。数控系统从此进入了基于 PC 的阶段。

总之，计算机数控阶段也历经了三代。即 1970 年的第四代—小型计算机；1974 年的第五代—微处理器和 1990 年的第六代—基于 PC（也就是为 PC-BASED）。

1.3、数控未来发展的趋势

1.3.1 继续向开放式、基于 PC 的第六代方向发展

基于 PC 所具有的开放性、低成本、高可靠性、软硬件资源丰富等特点，更多的数控

系统生产厂家会走上这条道路。至少采用 PC 机作为它的前端机，来处理人机界面、编程、联网通信等问题，由原有的系统承担数控的任务。PC 机所具有的友好的人机界面，将普及到所有的数控系统。远程通讯，远程诊断和维修将更加普遍。

1.3.2 向高速化和高精度化发展

这是适应机床向高速和高精度方向发展的需要。

1.3.3 向智能化方向发展

随着人工智能在计算机领域的不断渗透和发展，数控系统的智能化程度将不断提高。

(1) 应用自适应控制技术

数控系统能检测过程中一些重要信息，并自动调整系统的有关参数，达到改进系统运行状态的目的。

(2) 引入专家系统指导加工

将熟练工人和专家的经验，加工的一般规律和特殊规律存入系统中，以工艺参数数据库为支撑，建立具有人工智能的专家系统。

(3) 引入故障诊断专家系统

(4) 智能化数字伺服驱动装置

可以通过自动识别负载，而自动调整参数，使驱动系统获得最佳的运行。

二、机床数控化改造的必要性

2.1、微观看改造的必要性

从微观上看，数控机床比传统机床有以下突出的优越性，而且这些优越性均来自数控系统所包含的计算机的威力。

2.1.1 可以加工出传统机床加工不出来的曲线、曲面等复杂的零件。

由于计算机有高超的运算能力，可以瞬时准确地计算出每个坐标轴瞬时应该运动的运动量，因此可以复合成复杂的曲线或曲面。

2.1.2 可以实现加工的自动化，而且是柔性自动化，从而效率可比传统机床提高 3~7 倍。

由于计算机有记忆和存储能力，可以将输入的程序记住和存储下来，然后按程序规定的顺序自动去执行，从而实现自动化。数控机床只要更换一个程序，就可实现另一工件加工的自动化，从而使单件和小批生产得以自动化，故被称为实现了“柔性自动化”。

2.1.3 加工零件的精度高，尺寸分散度小，使装配容易，不再需要“修配”。

2.1.4 可实现多工序的集中，减少零件在机床间的频繁搬运。

2.1.5 拥有自动报警、自动监控、自动补偿等多种自律功能，因而可实现长时间无人看管加工。

2.1.6 由以上五条派生的好处。

如：降低了工人的劳动强度，节省了劳动力（一个人可以看管多台机床），减少了工装，缩短了新产品试制周期和生产周期，可对市场需求作出快速反应等等。

以上这些优越性是前人想象不到的，是一个极为重大的突破。此外，机床数控化还是推行 FMC（柔性制造单元）、FMS（柔性制造系统）以及 CIMS（计算机集成制造系统）等企业信息化改造的基础。数控技术已经成为制造业自动化的核心技术和基础技术。

2.2、宏观看改造的必要性

从宏观上看，工业发达国家的军、民机械工业，在 70 年代末、80 年代初已开始大规模应用数控机床。其本质是，采用信息技术对传统产业（包括军、民机械工业）进行技术改造。除在制造过程中采用数控机床、FMC、FMS 外，还包括在产品开发中推行 CAD、CAE、CAM、虚拟制造以及在生产管理中推行 MIS（管理信息系统）、CIMS 等等。以及在其生产的产品中增加信息技术，包括人工智能等的含量。由于采用信息技术对国外军、民机械工业进行深入改造（称之为信息化），最终使得他们的产品在国际军品和民品的市场上竞争力大为增强。

三、数控化改造的内容及优缺

3.1、数控改造业的兴起

在美国、日本和德国等国家，机床改造作为新的经济增长行业，生意盎然，正处在黄金时代。由于机床以及技术的不断进步，机床改造是个“永恒”的课题。在美国、日本、德国，用数控技术改造机床和生产线具有广阔的市场，已形成了机床和生产线数控改造的新的行业。在美国，机床改造业称为机床再生（Remanufacturing）业。从事再生业的著名公司有：Bertsche 工程公司、ayton 机床公司、Devlieg-Bullavd（得宝）服务集团、US 设备公司等。。在日本，机床改造业称为机床改装（Retrofitting）业。从事改装业的著名公司有：大隈工程集团、岗三机械公司、千代田工机公司、野崎工程公司、滨田工程公司、山本工程公司等。

3.2、数控化改造的内容

机床与生产线的数控化改造主要内容有以下几点：

其一是恢复原功能，对机床、生产线存在的故障部分进行诊断并恢复；

其二是 NC 化，在普通机床上加数显装置，或加数控系统，改造成 NC 机床、CNC 机床；

其三是翻新，为提高精度、效率和自动化程度，对机械、电气部分进行翻新，对机械部分重新装配加工，恢复原精度；对其不满足生产要求的 CNC 系统以最新 CNC 进行更新；其四是技术更新或技术创新，为提高性能或档次，或为了使用新工艺、新技术，在原有基础上进行较大规模的技术更新或技术创新，较大幅度地提高水平和档次的更新改造。

3.3、数控化改造的优缺

3.3.1 减少投资额、交货期短

同购置新机床相比，一般可以节省 60%~80% 的费用，改造费用低。特别是大型、

特殊机床尤其明显。一般大型机床改造，只花新机床购置费用的 1/3，交货期短。但有些特殊情况，如高速主轴、托盘自动交换装置的制作与安装过于费工、费钱，往往改造成本提高 2~3 倍，与购置新机床相比，只能节省投资 50% 左右。

3.3.2 机械性能稳定可靠，结构受限

所利用的床身、立柱等基础件都是重而坚固的铸造构件，而不是那种焊接构件，改造后的机床性能高、质量好，可以作为新设备继续使用多年。但是受到原来机械结构的限制，不宜做突破性的改造。

3.3.3 熟悉了解设备、便于操作维修

购买新设备时，不了解新设备是否能满足其加工要求。改造则不然，可以精确地计算出机床的加工能力；另外，由于多年使用，操作者对机床的特性早已了解，在操作使用和维修方面培训时间短，见效快。改造的机床一安装好，就可以实现全负荷运转。

3.3.4 可充分利用现有的条件

可以充分利用现有地基，不必像购入新设备时那样需重新构筑地基。

3.3.5 可以采用最新的控制技术

可根据技术革新的发展速度，及时地提高生产设备的自动化水平和效率，提高设备质量和档次，将旧机床改成当今水平的机床。

四、数控系统的选择

数控系统主要有三种类型，改造时，应根据具体情况进行选择。

4.1、步进电机拖动的开环系统

该系统的伺服驱动装置主要是步进电机、功率步进电机、电液脉冲马达等。由数控系统送出的进给指令脉冲，经驱动电路控制和功率放大后，使步进电机转动，通过齿轮副与滚珠丝杠副驱动执行部件。只要控制指令脉冲的数量、频率以及通电顺序，便可控制执行部件运动的位移量、速度和运动方向。这种系统不需要将所测得的实际位置和速度反馈到输入端，故称之为开环系统，该系统的位移精度主要决定于步进电机的角位移精度，齿轮丝杠等传动元件的节距精度，所以系统的位移精度较低。

该系统结构简单，调试维修方便，工作可靠，成本低，易改装成功。

4.2、异步电动机或直流电机拖动，光栅测量反馈的闭环数控系统

该系统与开环系统的区别是：由光栅、感应同步器等位置检测装置测得的实际位置反馈信号，随时与给定值进行比较，将两者的差值放大和变换，驱动执行机构，以给定的速度向着消除偏差的方向运动，直到给定位置与反馈的实际位置的差值等于零为止。闭环进给系统在结构上比开环进给系统复杂，成本也高，对环境室温要求严。设计和调试都比开

环系统难。但是可以获得比开环进给系统更高的精度，更快的速度，驱动功率更大的特性指标。可根据产品技术要求，决定是否采用这种系统。

4.3、交/直流伺服电机拖动，编码器反馈的半闭环数控系统

半闭环系统检测元件安装在中间传动件上，间接测量执行部件的位置。它只能补偿系统环路内部部分元件的误差，因此，它的精度比闭环系统的精度低，但是它的结构与调试都较闭环系统简单。在将角位移检测元件与速度检测元件和伺服电机作成一体时无需考虑位置检测装置的安装问题。

当前生产数控系统的公司厂家比较多，著名公司的如德国 SIEMENS 公司、日本 FANUC 公司。

选择数控系统时主要是根据数控改造后机床要达到的各种精度、驱动电机的功率和用户的要求。

五、数控改造中主要机械部件改装探讨

一台新的数控机床，在设计上要达到：有高的静动态刚度；运动副之间的摩擦系数小，传动无间隙；功率大；便于操作和维修。机床数控改造时应尽量达到上述要求。不能认为将数控装置与普通机床连接在一起就达到了数控机床的要求，还应对主要部件进行相应的改造使其达到一定的设计要求，才能获得预期的改造目的。

5.1、滑动导轨副

对数控车床来说，导轨除应具有普通车床导向精度和工艺性外，还要有良好的耐摩擦、磨损特性，并减少因摩擦阻力而致死区。同时要有足够的刚度，以减少导轨变形对加工精度的影响，要有合理的导轨防护和润滑。

5.2、齿轮副

一般机床的齿轮主要集中在主轴箱和变速箱中。为了保证传动精度，数控机床上使用的齿轮精度等级都比普通机床高。在结构上要能达到无间隙传动，因而改造时，机床主要齿轮必须满足数控机床的要求，以保证机床加工精度。

5.3、滑动丝杠与滚珠丝杠

丝杠传动直接关系到传动链精度。丝杠的选用主要取决于加工件的精度要求和拖动扭矩要求。被加工件精度要求不高时可采用滑动丝杠，但应检查原丝杠磨损情况，如螺距误差及螺距累计误差以及相配螺母间隙。一般情况滑动丝杠应不低于 6 级，螺母间隙过大则更换螺母。采用滑动丝杠相对滚珠丝杠价格较低，但难以满足精度较高的零件加工。

滚珠丝杠摩擦损失小，效率高，其传动效率可在 90% 以上；精度高，寿命长；启动力矩和运动时力矩相接近，可以降低电机启动力矩。因此可满足较高精度零件加工要求。

5.4、安全防护

必须以安全为前提。在机床改造中要根据实际情况采取相应的措施，切不可忽视。滚珠丝杠副是精密元件，工作时要严防灰尘特别是切屑及硬砂粒进入滚道。在纵向丝杠上也可加整体铁板防护罩。大拖板与滑动导轨接触的两端面要密封好，绝对防止硬质颗粒状的异物进入滑动面损伤导轨。

六、数控改造几个实例

1、用 SIEMENS 810M 改造 X53 铣床

2001 年，用德国西门子 810M 数控系统、611A 交流伺服驱动系统对公司的一台型号为 X53 的铣床进行 X、Y、Z 三轴数控改造；保留了原有的主轴系统和冷却系统；改造的三轴在机械上采用了滚轴丝杆及齿轮传动机构。整个改造工作包括机械设计、电气设计、PLC 程序的编制与调试、机床大修，最后是整机的安装和调试。铣床改造后，加工有效行程 X/Y/Z 轴分别为 880/270/280 mm；最大速度 X/Y/Z 轴分别为 5000/1500/800 mm/min；手动速度 X/Y/Z 轴分别为 3000/1000/500 mm/min；机床加工精度达到 $\pm 0.001\text{mm}$ 。机床的三坐标联动可完成各种复杂曲线或曲面的加工。

2、用 GSK980T 和交流伺服驱动系统改造 C6140 车床

2004 年，GSK980T 数控系统、DA98 交流伺服单元及 4 工位自动刀架对电机分厂的一台 C6140 车床 X、Z 两轴进行数控改造；保留了原有的主轴系统和冷却系统；改造的两轴在机械上采用了滚轴丝杆及同步带传动机构。整个改造工作包括机械设计、电气设计、机床大修及整机的安装和调试。车床改造后，加工有效行程 X/Z 轴分别为 390/730 mm；最大速度 X/Z 轴分别为 1200/3000 mm/min；手动速度为 400mm/min；手动快速为 X/Z 轴分别为 1200/3000 mm/min；机床最小移动单位为 0.001mm。

3、用 SIEMENS 802S 改造 X53 铣床

2004 年，用德国西门子 802S 数控系统、步进驱动系统对公司的另一台型号为 X53 的铣床进行 X、Y、Z 三轴数控改造；保留了原有的主轴系统和冷却系统；改造的三轴在机械上采用了滚轴丝杆及齿轮传动机构。整个改造工作包括机械设计、电气设计、机床大修，最后是整机的安装和调试。铣床改造后，加工有效行程 X/Y/Z 轴分别为 630/240/280 mm；最大速度 X/Y/Z 轴分别为 3000/1000/600 mm/min；手动进给速度 X/Y/Z 轴分别为 2000/800/500 mm/min；最小移动单位为 0.001mm。

