

# 运动控制产品技术分析及市场概览

中国工控网 (www.gongkong.com)

## 运动控制技术的发展

运动控制起源于早期的伺服控制 (Servo mechanism), 伺服系统的发展经历了由液压到电气的过程。运动控制就是对机械运动部件的位置、速度等进行实时的控制管理, 使其按照预期的运动轨迹和规定的运动参数进行运动。早期的运动控制技术主要是伴随着数控 (CNC) 技术、机器人技术 (Robotics) 和工厂自动化技术的发展而发展的。早期的运动控制器实际上是可以独立运行的专用的控制器, 往往无需另外的处理器和操作系统支持, 可以独立完成运动控制功能和人机交互功能。这类控制器可以称为独立运行 (Stand-alone) 的运动控制器。

这类控制器主要针对专门的数控机械和其他自动化设备而设计, 往往根据应用行业的工艺要求设计了相关的功能, 用户只需要按照其协议要求编写应用加工代码文件, 利用RS232等通讯方式传输到控制器, 控制器即可完成相关的动作。这类控制器往往不能离开其特定的工艺要求而跨行业应用, 控制器的开放性仅仅依赖于控制器的加工代码协议, 用户不能根据应用要求而重组自己的运动控制系统。因此, 通用运动控制器的发展成为市场的必然需求。

由国家组织的开放式运动控制系统的研究始于1987年, 美国空军在美国政府资助下发表了著名的“NGC (下一代控制器) 研究计划”, 该计划首先提出了开放体系

结构控制器的概念, 这个计划的重要内容之一便是提出了“开放体系结构标准规格(OSACA)”。自1996年开始, 美国几个大的科研机构对NGC计划分别发表了相应的研究内容, 比如在美国海军支持下, 美国国际标准研究院提出了“EMC (增强型机床控制器)”; 由美国通用、福特和克莱斯勒三大汽车公司提出和研制了“OMAC (开放式、模块化体系结构控制器)”, 其目的是用更开放、更加模块化的控制结构使制造系统更加具有柔性、更加敏捷。该计划启动后不久便公布了一个名为“OMAC APT”的规范, 并促成了一系列相关研究项目的运行。

通用运动控制技术作为自动化技术的一个重要分支, 在20世纪90

年代, 国际上发达国家, 例如美国进入快速发展阶段。由于有强劲市场需求的推动, 通用运动控制技术发展迅速, 应用广泛。近年来, 随着通用运动控制技术的不断进步和完善, 通用运动控制器作为一个独立的工业自动化控制类产品, 已经被越来越多的产业领域接受, 并且它已经达到一个引人注目的市场规模。

自20世纪80年代初期, 通用运动控制器已经开始在国外多个行业应用, 尤其是在微电子行业的应用更加广泛。而当时运动控制器在我国的应用规模和行业面很小, 国内也没有厂商开发出通用的运动控制器产品。

通用伺服系统根据所驱动的电机类型分为直流 (DC) 和交流 (AC)



伺服系统，20世纪50年代，无刷电机和直流电机实现了产品化，并在计算机外围设备和机械设备上获得了广泛的应用，20世纪70年代则是直流伺服电机的应用最广泛的时期。但直流伺服电机存在机械结构复杂、维护工作量大等缺点，在运行过程中转子容易发热，影响了与其连接的其他机械设备的精度，难以应用到高速及大容量的场合，机械换向器则成为直流伺服驱动技术发展的瓶颈。

从20世纪70年代后期到80年代初期，随着微处理器技术、大功率高性能半导体功率器件技术和电机永磁材料制造工艺的发展及其性能价格比的日益提高，交流伺服技术——交流伺服电机和交流伺服控制系统逐渐成为主导产品。交流伺服电机克服了直流伺服电机存在的电刷、换向器等机械部件所带来的各种缺点，特别是交流伺服电机的过负荷特性和低惯性体现出交流伺服系统的优越性。在交流伺服研究领域，日本、美国和欧洲的研究一直走在世界前列，日本的安川公司在20世纪80年代中期就研制成功世界上第一台交流伺服驱动器。

我国从“七·五”和“八·五”期间也投入不少的资金和人力研究交流调速和伺服系统，但一直没有产业化。清华大学、冶金部自动化院伺服研究所、机械部机电数控集团、襄樊机床等科研单位和企业曾大力研究相关技术，部分产品的性能指标也达到了国外同类产品的水平，这在当时都是国家支持，有名的科研院所牵头进行的轰轰烈烈的国家攻关项目。但是这些产品基本上都没有形成大批量的生产能力，也没有产生应有的经济效益。

### 通用运动控制产品

在实际工厂自动化生产中，对

设备运动控制的要求无处不在，受技术发展、工艺要求、工作环境的影响，市场上的运动控制产品呈现出多样性。限于篇幅，本文仅对以电磁原理构成的能够对速度、力量和位置进行精确控制的电气装置，具体产品包括交流伺服系统、步进系统及相关的控制器进行描述和分析，不包括液压/气动系统、直流调速系统和变频器加上反馈元件形成的闭环系统。对于运动控制器来说，包括PC-Based运动控制器、PLC运动控制器、专用运动控制器和驱动器集成运动控制器。

目前，市场上表现较好的伺服系统供应商及相关产品系列见表1，步进系统主要供应商及相关产品系列见表2，基于PLC的运动控制平台供应商及相关产品系列见表3。

### 运动控制系统技术分析

一、运动控制系统主要用于对机械传动装置的位置、速度进行实时的控制管理，使运动部件按照预期的轨迹和规定的运动参数完成相应的动作。根据运动控制系统的特点和应用可将运动控制器分为点位控制运动控制器、连续轨迹控制运动控制器和同步控制运动控制器。

1. 点位运动控制 这种运动控制的特点是仅对终点位置有要求，与运动的中间过程即运动轨迹无关。相应的运动控制器要求具有快速的定位速度，在运动的加速段和减速段，采用不同的加减速控制策略。在加速运动时，为了使系统能够快速加速到设定速度，往往提高系统增益和加大加速度，在减速的末段采用S曲线减速的控制策略。

表1 伺服系统主要供应商

品牌	型号
Panasonic	Minas A, A4; Minas S
Mitsubishi	MR-J2S, MR-J3; MR-E
Siemens	SIMOVERT MASTERDRIVES MC, VC; SIMOTION 6S; SIMODRIVE 611 6SN, 6FC, 6FX
Yaskawa	Sigma II, Sigma II H; 骏马
Rexroth	ECO DRIVE 03; DIAx04
Sanyo	P1, P5, P6, PX2; Q
Lenze	ECS; 9300EP
Delta	ASDA; ASDB

表2 步进系统主要供应商

品牌	型号
Startsh	MS-2H, MS-3H; SH-2H, SH-3F, SH-5s
Stone	SH
Berger Lahr	WD3; WDM3
Leisai	ME; MD; M; H
Baishan	WM; Q2HB; Q3HB

表3 PLC运动控制平台主要供应商

品牌	型号
Mitsubishi	Q173CPU(N)/Q172CPU(N); Q173HCPU(N)/Q172HCPU(N)
Siemens	S7-400 + FM453; S7-300 + FM357-2
Rockwell	Controllogix + M16SE
Omron	CS1 + MC421
Schneider	Quantum + 141MMS

为了防止系统到位后震动，规划到位后，又会适当减小系统的增益。所以，点位运动控制器往往具有在线可变控制参数和可加减减速曲线的能力。

**2. 连续轨迹运动控制** 又称为轮廓控制，主要应用在传统的数控系统、切割系统的运动轮廓控制。相应的运动控制器要解决的问题是如何使系统在高速运动的情况下，既要保证系统加工的轮廓精度，还要保证刀具沿轮廓运动时的切向速度的恒定。对小线段加工时，有多段程序预处理功能。

**3. 同步运动控制** 是指多个轴之间的运动协调控制，可以是多个轴在运动全程中进行同步，也可能是在运动过程中的局部有速度同步，主要应用在需要有电子齿轮箱和电子凸轮功能的系统控制中。常用于印染、印刷、造纸、轧钢、同步剪切等行业。相应的运动控制器的控制算法常采用自适应前馈控制，通过自动调节控制量的幅值和相位，来保证在输入端加一个与干扰幅值相等、相位相反的控制作用，以抑制周期干扰，保证系统的同步控制。

从目前国内市场的应用情况反馈来看，按照不同的运动特点和行业应用进行产品开发和市场推广，具有一定的优势。

二、目前我们通常看到的运动控制器主要是在高速数字信号处理器DSP为代表的高性能、高速度微处理器及大规模可编程逻辑器件FPGA的基础上发展而来的。由DSP实现运动规划，多轴插补、伺服控制滤波等数据运算和实时控制管理，FPGA逻辑可编程器件和其他相关器件组成伺服控制和位置反



馈硬件接口。在运动控制器发展的30多年中，出现了以单片机、专用芯片、PC机为核心处理器的运动控制平台。

**1. 以单片机或微处理器为核心的运动控制器。**传统的运动控制器多采用嵌入式高性能单片机(如MC68331微控制器)或DSP(TMS320xxx或DSP56xxx)来实现，系统集成度不够高，电路复杂，且软、硬件研制周期长，性能一致性较难保证。这类运动控制器在一些只需要低速点位运动控制和对轨迹要求不高的轮廓运动控制场合比较适用。

**2. 以专用芯片(ASIC)作为核心处理芯片的运动控制器。**采用专用运动控制芯片可以提高系统集成度、插补速度及可靠性，同时简化电路，缩短开发周期。目前市场上有多种运动控制器，如美国的PMD公司，日本的NOVA、SEEK公司的产品。例如日本NOVA公司的MCX314As，能够同时控制4个伺服马达或步进马达，能以脉冲串形式输出，对伺服马达和步进马达进行位置控制、插补驱动速度控制等。但对于要求多轴协调运动和高速轨迹插补控制的设备，这类运动控制器有的不能满足要求。另外，由于硬件资源的限制，这类控制器的圆弧插补算法通常都采用逐点比较法，这样一来圆弧插补的精度也

不高。

**3. 基于PC总线的以DSP和FPGA作为核心处理器的开放式运动控制器。**这类开放式运动控制器以DSP芯片作为运动控制器的核心处理器，具有信息处理能力强、开放程度高、运动轨迹控制准确、通用性好的特点。这类运动控制器充分利用了DSP的高速数据处理功能和FPGA的超强逻辑处理能力，便于设计出功能完善、性能优越的运动控制器。这类运动控制器通常都能提供板上的多轴协调运动控制与复杂的运动轨迹规划、实时的插补运算、误差补偿、伺服滤波算法，能够实现闭环控制。由于采用FPGA技术来进行硬件设计，方便运动控制器供应商根据客户的特殊工艺要求和技术要求进行个性化的定制，形成独特的产品。

以上第一类运动控制器由于其性能的限制，在市场上所占份额较少，主要应用于一些单轴简单运动的场合，往往还面临同PLC厂商提供的定位控制模块的激烈竞争。第二类运动控制器因其结构简单、成本较低，占有一定的市场份额，由于其专用芯片(ASIC)能提供运动控制的基本功能，用户可以利用该芯片设计专用的控制器。第三类运动控制器是目前国内运动控制器产品的主流，目前国外开放式运动控制器产品已经开始大量进入中国；基于PC总线的开放式运动控制器已成为当今自动化领域应用最广、功能最强的运动控制器，并且在全球范围内得到了广泛的应用。

三、通用运动控制技术已逐步发展成为一种高度集成化的技术，不但包含通用的多轴速度、位置控制技术，而且与应用系统的工

艺条件和技术要求紧密相关。事实上，应用系统的技术要求，特别是一个行业的工艺技术要求也促进了运动控制器功能的发展。运动控制器的许多功能都是同工艺技术要求密切相关的，通用运动控制器的应用不但简化了机械结构甚至简化了生产工艺。通用运动控制器的以下主要功能在多个行业得到广泛的应用。

**1. 运动规划功能** 实际上是形成运动的速度和位置的基准量。合适的基准量不但可以改善轨迹的精度，而且还可以降低对传动系统以及机械传递元件的要求。通用运动控制器通常都提供基于对冲击（Jerk）、加速度和减速度等这些可影响动态轨迹精度的量值加以限制的运动规划方法，用户可以直接调用相应的函数，对加速度进行限制的运动规划产生梯形速度曲线；对冲击进行限制的运动规划产生S形速度曲线。一般说来，对数控机床而言，采用加速度和速度基准量限制的运动规划方法，就足已获得一种优良的动态特性。对于高加速度、小行程运动的快速定位系统如PCB钻床、SMT机，其定位时间和超调量都有严格的要求，往往需要高阶导数连续的运动规划方法。

**2. 多轴插补、连续插补功能** 通用运动控制器提供的多轴插补功能在数控机械行业获得了广泛的应用。近年来，由于雕刻机市场，特别是模具雕刻机市场的快速发展，推动了运动控制器的连续插补功能的发展。在模具雕刻中存在大量的短小线段加工，要求段间加工速度波动尽可能小，速度变化的拐点要平滑过渡，这样要求运动控制器有速度前瞻（Look

ahead）和连续插补的功能。例如固高科技公司推出了专门应用于小线段加工工艺的连续插补型运动控制器，该控制器在模具雕刻、激光雕刻、平面切割等领域获得了良好的应用。

**3. 电子齿轮与电子凸轮功能** 不但可以大大地简化机械设计，而且可以实现许多机械齿轮与凸轮难以实现的功能。电子齿轮可以实现多个运动轴按设定的齿轮比同步运动，这使得运动控制器在定长剪切（fixed-length tting）和无轴传动的套色印刷方面有很好的应用。另外，电子齿轮功能还可以实现一个运动轴以设定的齿轮比跟随一个函数，而这个函数由其他的几个运动轴的运动决定；一个轴也可以以设定的比例跟随其他两个轴的合成速度。如工业缝纫机和绗缝机的应用中，Z轴（缝线轴）可以跟随XY轴（移动轴）的合成速度，从而使缝针脚距均匀。电子凸轮功能可以通过编程改变凸轮形状，无需修磨机械凸轮，极大地简化了加工工艺。这个功能使运动控制器在机械凸轮的淬火加工、异型玻璃切割和全电机驱动弹簧机等领域有良好的应用。

**4. 比较输出功能** 是指在运动过程中，位置到达设定的坐标点时，运动控制器输出一个或多个开关量，而运动过程不受影响。如在AOI的飞行检测（Flying inspection）中，运动控制器的比较输出功能使系统运行到设定的位置即启动CCD快速摄像，而运动并不受影响，这样极大地提高了效率，改善了图像质量。在冶金行业大量应用的飞剪系统中也用到了比较输出功能。

**5. 探针信号锁存功能** 可以

锁存探针信号产生的时刻，各运动轴的位置，其精度只与硬件电路相关，不受软件和系统运动惯性的影响，在CMM测量行业有良好的应用。

另外，越来越多的OEM厂商希望将他们自己丰富的行业应用经验集成到运动控制中去，针对不同的应用场合和控制对象，个性化设计运动控制器的功能。

## 数控系统

目前国内使用最多的数控系统品牌包括：广州数控，Fanuc，Siemens，华中数控，Mitsubishi，Fagor。其中广州数控和华中数控的主要市场是经济型数控机床，又以车床为主。Fanuc的产品主要用于中端产品和普及型数控机床，也有少量高端产品用户；Siemens的产品在大型机床和高精度机床上的比例最高。国内的数控系统在功能上和细节上与国外产品仍然又非常大的差距，因此目前的市场格局在近期无法改变，国内品牌只能在普及型和经济型产品的数量上进一步增加，近期无法对Siemens、Fagor等高端数控系统供应商形成竞争。

随着现代科技的发展，数控技术的发展趋势是开放式数控。开放式数控系统具有即插即用、可移植性、可扩展性和可互操作性特点。PC—NC是目前比较实用的一种开放式数控系统模式，PC—NC可归纳为3种：PC板插入到NC装置中；软件NC；NC板插入到PC中。

通常一个机床厂在不同种类的数控机床上使用不同品牌的数控系统，这与用户以及开发人员的使用习惯、对不同产品的熟悉程度、性价比和服务支持紧密相关。比如数

码雕刻机的控制系统与一个3轴的数控机床基本相同，应用以步进电机为主；也有一些厂商将控制器，驱动器和电机集成一起，做成专门的雕刻机控制系统。

数控系统是一种集成度相对较高的特殊运动控制产品，包括控制器，驱动器，电机和反馈装置。数控系统厂商除了自主开发生产的核心部件外，一般选用市场上表现较好的伺服系统、步进系统、电机等进行开发集成。不过部分专业数控系统厂商会使用自己的伺服系统，比如中国机床行业主要CNC供应商Fanuc在他们生产的数控系统中使用自己的伺服产品，而且他们的伺服产品极少用于其他行业。国内的伺服电机厂商较多，他们为数控机床厂商提供了大量的电机产品。

## 交流伺服控制系统

在20世纪最后10年里，微处理器(特别是数字信号处理器--DSP)技术、电力电子技术、网络技术、控制技术的发展为伺服驱动技术的进一步发展奠定了良好的基础。如果说20世纪80年代是交流伺服驱动技术取代直流伺服驱动技术的话，那么，20世纪90年代则是伺服驱动系统实现全数字化、智能化、网络化的10年，这一点在一些工业发达国家尤为明显。作为数控机床的执行机构，伺服系统将电力电子器件、控制、驱动及保护等集为一体，并随着数字脉宽调制技术、特种电机材料技术、微电子技术及现代控制技术的进步，经历了从步进到直流，进而到交流的发展历程。

交流伺服系统按其采用的驱动电动机的类型来分，主要有两大类：永磁同步(SM型)电动机交

流伺服系统和感应式异步(IM型)电动机交流伺服系统。其中，永磁同步电动机交流伺服系统在技术上已趋于完全成熟，具备了十分优良的低速性能，并可实现弱磁高速控制，拓宽了系统的调速范围，适应了高性能伺服驱动的要求。随着永磁材料性能的大幅度提高和价格的降低，其在工业生产自动化领域中的应用将越来越广泛，目前已成为交流伺服系统的主流。感应式异步电动机交流伺服系统由于感应式异步电动机结构坚固，制造容易，价格低廉，因而具有很好的发展前景，代表了将来伺服技术的方向。但由于该系统采用矢量变换控制，相对永磁同步电动机伺服系统来说控制比较复杂，而且电机低速运行时还存在着效率低、发热严重等有待克服的技术问题，目前并未得到普遍应用。

在实际应用中，精度更高、速度更快、使用更方便的交流伺服产品已经成为工厂自动化等各个领域中的主流产品。

传统的伺服系统模拟控制虽然具有连续性好、响应速度快及成本低的优点，但也有难以克服



的缺点，如系统调试困难，容易受到环境温度变化的影响而产生漂移，难以实现柔性化设计，缺乏实现复杂计算的能力，无法实现现代化控制理论指导下的控制算法等。所以现代伺服控制均采用全数字化结构，伺服控制系统的主要理论也采用了现代矢量控制思想，它实现了电流向量的幅值控制和相位控制。为了提高产品的性能，新一代的伺服控制器采用了多种新技术、新工艺，主要体现在以下几个方面：

① 在电流环路中采用了d-q轴变换电流单元，在新的控制方式中，主CPU的运算量得以减少，通过硬件来进行电流环控制，即将控制算法固化在LSI专用硬件环路中。通过采用高速的d-q轴变换电流单元，使电流环的转矩控制精度有了进一步的提高，实现了在稳态运行及瞬态运行时均能保持良好的性能。

② 采用了脉冲编码器倍增功能，新的控制算法使位置控制的整定时间大大缩短。

③ 速度控制环采用速度实时检测控制算法，使电机的低速性能得到进一步提高，速度波动和转矩波动降到最低。采用在线自动锁定功能，使伺服系统的调试时间缩短，操作更加简化。

④ 采用主回路与控制回路进行电气隔离的结构，使操作及故障检测更加方便安全，供电电源电压从100V扩展到400V(单相/三相)。

⑤ 伺服控制一般均采用从电机轴端的位置编码器采集位置信号进行反馈，在受控执行机械部分没有反馈采样信号，即半闭环的控制方式。目前的新产品则采用全闭环的控制方式，使机械加工误差、齿轮

间隙、结构受力弹性变形等误差所造成的影响在伺服控制器中通过计算完成修正。

◎ 用RICS（精简指令计算机系统）技术，使CPU的数据处理能力由8位、16位提高到32位，微处理器的主频提高到百兆以上。

### 步进系统

虽然面临交流伺服控制系统的挑战，但步进系统凭借其不断改进的运动控制性能和先进的编程能力在运动控制领域仍占有一席之地。易于启动、编程简单、运动平滑、设计小型化、网络化以及成本优势使得步进系统仍在持续发展。步进伺服是一种用脉冲信号进行控制，并将脉冲信号转换成相应的角位移的控制系统。其角位移与脉冲数成正比，转速与脉冲频率成正比，通过改变脉冲频率可调节电动机的转速。如果停机后某些绕组仍保持通电状态，则系统还具有自锁能力。步进电动机每转一周都有固定的步数，如500步、1000步、50,000步等等，从理论上讲其步距误差不会累计。

大部分基于步进电机的运动系统运行在开环状态下，因此能够提供低成本解决方案。实际上，

步进系统是唯一的、一个不需反馈就具备位置控制能力的运动技术。但是当步进电机以开环方式驱动负载时，在指令步和实际步之间存在失去同步的潜在可能性。

闭环控制作为传统步进运动控制的补充，为有更高安全性、可靠性或产品质量要求的应用提供了高性价比的选择。反馈装置或某种间接参数检测方式在这类步进系统中“闭合了回路”，以校验/控制失步、检测电机堵转，并保证了更大的有效力矩输出

步进系统结构简单，符合系统数字化发展需要，但精度差、能耗高、速度低，且其功率越大移动速度越低。特别是步进系统易于失步，使其主要用于速度与精度要求不高的经济型数控机床及旧设备改造。但近年发展起来的闭环控制、恒斩波驱动、PWM驱动、微步驱动、超微步驱动和混合伺服技术，使得步进电动机的高、低频特性、定位准确性得到了很大的提高，特别是随着智能超微步驱动技术的发展，将把步进系统的性能提高到一个新的水平。



剩余磁密、矫顽力和最大磁能积均好于其他永磁材料，再加上合理的磁极、磁路及电机结构设计，大大地提高了电机的性能，同时又缩小了电机的外形尺寸。新一代的伺服电机大都采用了新型的位置编码器，这种位置编码器的输出信号线数量从9根减少到5根，并支持增量型和绝对值型两种类型，通信速率达4M/s，通信周期为62.5 μs，数据长度为12位，编码器分辨率为20bit/rev，即每转生成100万个脉冲，最高转速达6000r/min，编码器电源电流仅为16 μA。伺服电机按照容量可以分为超小型（MINI型）、小容量型、中容量型和大容量型。超小容量型的功率范围为10W到20W，小容量型的功率范围为30W~750W，中容量型的功率范围为300W~15KW，大容量型的功率范围为22KW~55KW。伺服电机的供电电压范围从100V~400V（单/三相）。

1990年以前，由于技术成本等原因，国内伺服电机以直流永磁有刷电机和步进电机为主，而且主要集中在机床和国防军工行业。1990年以后，进口永磁交流伺服电机系统逐步进入中国，此期间得益于稀土永磁材料的发展、电力电子及微电子技术日新月异的进步，交流伺服电机的驱动技术也很快从模拟式过渡到全数字式。由于交流伺服电机的驱动装置采用了先进全数字式驱动控制技术，硬件结构简单，参数调整方便，产品生产的一致性可靠性增加，同时可集成复杂的电机控制算法和智能化控制功能，如增益自动调整、网络通讯功能等，大大拓展了交流伺服电机的适用领域；另外随着各行业，如机床、印刷设备、包装设备、纺织设备、激



### 伺服电机

随着永磁材料制造工艺的不断完善，新一代的伺服电机大都采用了最新的Nd2Fe14b1（钕铁硼）材料，该材料的

光加工设备、机器人、自动化生产线等对工艺精度、加工效率和工作效率等要求不断提高，这些领域对交流伺服电机的需求迅速增长，交流伺服将逐步替代原有直流有刷伺服电机和步进电机。

目前市场上出现了专用型伺服电机和智能型伺服电机，专用型伺服电机针对客户具体单一应用，由于其特殊的技术和成本指标，通用

伺服产品（包括进口产品）很难达到要求，这就需要量身定制，在原有伺服电机驱动器中嵌入用户特定的运动控制功能。这些典型行业客户需求具备一定批量，同时要求有较高的可靠性。智能型伺服电机在通用伺服驱动器的基础上，附加一些PLC和运动控制功能，加上本身具备的网络通信等功能，形成一个独立的单轴运动控制器，独立完

成一定的运动控制功能，如：点对点定位等，可广泛用于自动化生产线等应用领域。

国内的伺服电机厂商较多，以前主要为数控机床提供产品，随着非机床行业对伺服系统的需求日益增加，国内品牌将更多的注意力转移到通用伺服领域。与国外品牌相比，国内伺服电机在响应速度、最高转速、功率密度等方面还存在较大的差距，尽管市场上开始出现国内品牌的声，但是要动摇日本品牌市场主流的位置，还有很长的路要走。

表4 中国运动控制产品市场规模（2005）

产品	市场（百万元）	增长率
伺服	1,260	14.5%
步进	210	7.7%
控制器	250	10.4%

表5 中国运动控制产品市场及预期

年份	伺服		步进		运动控制器	
	百万元	增长率	百万元	增长率	百万元	增长率
2003	810	23%	168	11%	190	16%
2004	1100	36%	195	16%	226	19%
2005	1,260	15%	210	8%	250	11%
2006	1,440	14%	220	5%	275	10%
2007	1,650	15%	230	5%	305	11%
2008	1,900	15%	240	4%	340	11%

表6 不同控制平台的伺服系统市场

控制平台	轴数	百分比
PC-Based	27,500	21.5%
PLC-High	2,000	1.6%
PLC-Low	20,000	15.6%
Special	75,000	58.6%
Drive Integrated	3,500	2.7%
合计	128,000	100%

表7 不同控制平台的步进产品市场

控制器	轴数	百分比
PC-Based	18,500	11%
PLC	111,000	65%
Special	41,500	24%
Total	171,000	100%

表8 2005中国伺服和步进产品市场—行业

行业	伺服产品市场	步进产品市场
机床	19.8%	36%
印刷	6.3%	7%
纺织	7.9%	9%
包装	8.7%	6%
橡胶塑料	12.1%	2%
电子	8.7%	5%
其他	36.5%	35%

## 运动控制系统市场状况

### 1. 市场规模及增长

在2005年，伺服系统，步进系统和运动控制器的市场超过了15亿元，分别达到了12.6亿元、2.1亿元和2.5亿元，同比增长分别为14.5%、7.7%和10.4%。伺服产品依然是市场上最大而且增长率最高的一个产品分支。由于专用控制器和驱动器整合控制器只是作为整个产品的一个组件，我们列出的关于控制器的数据中只包括PC-Based和PLC，见表4。

由于步进产品大量用于电子产品，表4中数据仅仅包括用于工业自动化的步进产品。

中国未来的运动控制市场的增长主要来自行业运用深度的增加（使用运动控制产品的设备比例提高）、运用范围延伸（没有使用运动控制产品的领域/设备开始使用）和机电设备产量的增加。造成这种状况的原因包括，市场全球化使国内制造业的市场空间大大增加，同时对制造业的技术和装备提出了更高的要求；另外国外厂商生产本地化促进本地采购增加。

## 2. 市场份额

2005年伺服市场的格局与2004年大体相同，总体上看，日本品牌是市场的主流，欧美品牌在高端市场占优势，国内品牌成长迅速。

## 3. 行业运用

伺服产品的运用以机械配套使用为主，在所有的行业中，机床行业依然是伺服产品用量最多的行业，这种状况将持续。中国包装行业装备水平与国外水平差距最大，是伺服产品潜力巨大的市场。此外，印刷也是潜力较大的行业。

根据步进产品的技术特点，步进产品主要用于机床、印刷、纺织等行业。在机床行业中，无反馈或者低反馈需求的场合更多的使用了步进产品，如激光工具、焊接、电火花加工工具、无刀具切割（火焰、等离子、水力切割等）。此外印刷的套色、纺织中的提花机、试验仪器的工作台定位、雷达天线定位、摄像头的定位等领域也是步进产品的优势领域，在随后的几年中并不会受到其他产品的更多竞争压力。

## 4. 控制器市场

从数量上来看，基于PLC的运动控制器占据了多数，这些产品主要用于各种机械设备，这些设备都采用PLC控制。小型PLC大多提供高速脉冲功能，能实现简单的单轴控制或者多轴同步。只有一些大中型PLC厂商提供基于PLC平台的运动控制模块，见表3。

专用控制器属于第二大类运动控制器也用于各种机械设备，这些设备采用嵌入式产品控制。一个趋势是基于嵌入式产品的独立运动控制器越来越多的在市场上出现，涵盖从简单到复杂的各种运用层面，

尤其是单轴的产品直接和PLC形成了竞争。这一类产品不必依赖于PC平台，运用灵活，具有较好的增长潜力。

PC-Based运动控制器主要用于相对复杂的场合，目前PMAC占据了主要的高端市场，GALIL表现也不错。从出货量上讲，国内的厂商更多，但是主要针对低端市场。从控制的轴数来看，PLC和专用控制器最多。另外欧洲的一些厂商提供整合控制器的伺服驱动器，这些产品主要用于各种生产线上，通过总线与上位机通讯，多用于同步控制。

## 运动控制系统发展趋势

运动控制技术的发展是制造自动化前进的旋律，是推动新的产业革命的关键技术。运动控制技术也由面向传统的数控加工行业专用运动控制技术而发展为具有开放结构、能结合具体应用要求而快速重组的先进运动控制技术。基于网络的开放式结构和嵌入式结构的通用运动控制器逐步成为自动化控制领域里的主导产品之一，高速、高精度始终是运动控制技术追求的目标。

目前的运动控制系统已经充分利用DSP的计算能力，来进行复杂的运动规划、高速实时多轴插补、误差补偿和更复杂的运动学、动力学计算，使得运动控制精度更高、速度更快、运动更加平稳；充分利用DSP和FPGA技术，使系统的结构更加开放，根据用户的应用要求进行定制化的重组，设计出个性化的运动控制器，从运动控制器和电机的技术发展和市场需求的变化来看，基本可以归结为：

## 1. 交流化

伺服技术将继续迅速地由DC伺服系统转向AC伺服系统。从目前国际市场的情况看，几乎所有的新产品都是AC伺服系统。在工业发达的国家，AC伺服系统的市场占有率已超过80%，在国内生产AC伺服系统的厂家也越来越多，正在逐步超过生产DC伺服系统的厂家。可以预见，不久的将来，除了在某些微型电机领域之外，AC伺服电机将完全取代DC伺服电机。

## 2. 全数字化

采用新型高速微处理器和专用数字信号处理器（DSP）的伺服控制单元将全面取代模拟电子器件为主的伺服控制单元，从而实现完全数字化的伺服系统。全数字化的实现，将原有的硬件伺服控制变成了软件伺服控制，从而使在伺服系统中应用现代控制理论的先进方法成为可能。如日本FANUC公司在伺服控制中采用高速DSP（Digital Signal Processor）进行数值计算来实现“直线性”、“稳定性”和“重复性”。利用前馈控制（Feed Forward）、插补前钟形加/减速以及自动拐角减速方案之后，克服了模拟伺服和一般数字伺服的响应滞后现象，响应和精度都得到明显的改善，轮廓误差减到1/100，而且定位时间也大为缩短，在典型钻削循环中循环时间可减少30%。

## 3. 高度集成化

新的伺服系统产品改变了将伺服系统划分为速度伺服单元与位置伺服单元两个模块的做法，代之以单一的、高度集成化、多功能的控制单元。同一个控制单元，只要通过软件设置系统参数，就可以改变其性能，既可以使用电机本身配



置的传感器构成半闭环调节系统，又可以通过接口与外部的的位置、速度、力矩传感器构成高精度的全闭环调节系统。

#### 4. 智能化

智能化是当前一切工业控制设备的流行趋势，伺服驱动系统作为一种高级的工业控制装置当然也不例外。最新数字化的伺服控制单元通常都设计为智能型产品，他们的智能化特点表现在：

- 具有参数记忆功能。系统的所有参数都可以通过人机对话的方式由软件来设置，保存在伺服单元内部，通过通信接口，这些参数甚至可以在运行中由上位计算机加以修改；

- 具有故障自诊断与分析功能。无论什么时候，只要系统出现故障，就会将故障的类型以及可能引起故障的原因通过用户面板清楚地显示出来，简化了维修与调试的复杂性；

- 具有参数自整定的功能。众所周知，闭环调节系统的参数整定是保证系统性能指标的重要环节，带有自整定功能的伺服单元可以通过几次试运行自动将系统的参数整定出来，并自动实现其最优化；

- 具有预定义行业应用宏功能。如Lenze推出的智能伺服控制器就预定义了用户常用的行业应用宏，可以通过简单地选择行业专用宏命令即可实现复杂的功能，而不象传统控制器需要单独编写应用程序来实现。

#### 5. 模块化和网络化

最新的伺服系统几乎都系统配置了标准的串行通信接口（如RS—232C接口等）和总线接口。这些接口的设置，显著增强了伺服单元

与其它控制设备的互联能力，从而与CNC系统间的连接也因此变得十分简单，只需要一根电缆或光缆，就可以将数台，甚至数十台伺服单元与上位计算机连接成为一个数控系统。在使用中，采用如工业以太网、RS485、SERCOS、Profibus、Modbus、Firewire等现场网络通信接口联接上级计算机或控制面板。如B&R已经通过对Ethernet Powerlink技术的研究，实现了基于以太网与驱动器间的实时通信。嵌入式的运动控制器也可配置软盘和硬盘驱动器，甚至可以通过Internet进行远程诊断。例如美国ADEPT公司的SmartController。

#### 6. 功能专用化

由于我国的特殊市场需求，一些其它的专用运动控制系统也会越来越多。例如图象伺服控制的专用运动控制器，力伺服的专用运动控制器等。根据用户的应用要求进行定制化的重构，设计出个性化的运动控制器将成为市场应用的一大方向。

#### 7. 交流伺服电动机将成为主流产品，且定制性、专用性增强

伺服电机从直流伺服电机发展到现在的永磁同步（SM型）交流伺服电动机和感应式异步（IM型）交流伺服电动机。其中，永磁同步电动机目前已成为交流伺服系统的主流。从伺服驱动产品当前的应用来看，直流伺服产品正逐渐减少，交流伺服产品则日渐增加，市场占有率逐步扩大。另外伺服电机的定制化和专用化表现也比较突出，多数定位于高端运动控制系统的厂商纷纷推出专用伺服电机，以满足行业的特殊需要。

- 根据行业用户的特殊需求，采用紧凑的物理尺寸、直接驱动设

计、不锈钢制造、行星齿轮头，甚至板载驱动定制专用电机产品。例如Rockwell Automation就根据食品机械行业的需求开发了2种适合该行业应用的产品系列：MP-Series食品级电机和MP-Series不锈钢电机，这些专用伺服电机比传统伺服电机更加紧凑，具有更高功率密度；Baldor Electric公司的SSBSM-Series（不锈钢无刷伺服电机）是为食品/液体和高洁净度的应用而设计，该系列电机采用全不锈钢设计，主轴、壳体和连接器都是不锈钢材质，使其适用于制药和食品加工过程；Siemens E&A公司新的1FK7-DYA伺服电机系列产品的亮点是该系列电机的前端外盖集成了行星齿轮，这使电机长度明显缩短，并且，与通过离合器连接分离的电机和齿轮的系统相比，1FK7-DYA系列产品能够提供更好的动态响应。

- 具有很宽转矩范围的专用伺服电机，如Yaskawa公司的Sigma II系列伺服电机有35种规格尺寸，峰值扭矩从13.5 oz-in.到14,558 lb-in（95 mNm到1,650 Nm）。

- 具有集成驱动器的专用伺服电机，如Bosch Rexroth公司的IndraDrive Mi是一种安装在电机上的模块化、高度集成的伺服驱动器。该驱动器安装于电机顶上，将电机的壳体作为散热片，完全不同于在类似单元上应用的安装在电机末端的控制方式。

- 简化安装“直接驱动”伺服电机，如Danaher Motion公司的Kollmorgen Cartridge DDR（直接驱动旋转）伺服电机包含了一种全新的DDR技术，这种技术结合了无机架直接驱动电机的性能优点和完整机架电机的安装便利性，并且其价格明显低于传统的DDR技术。■