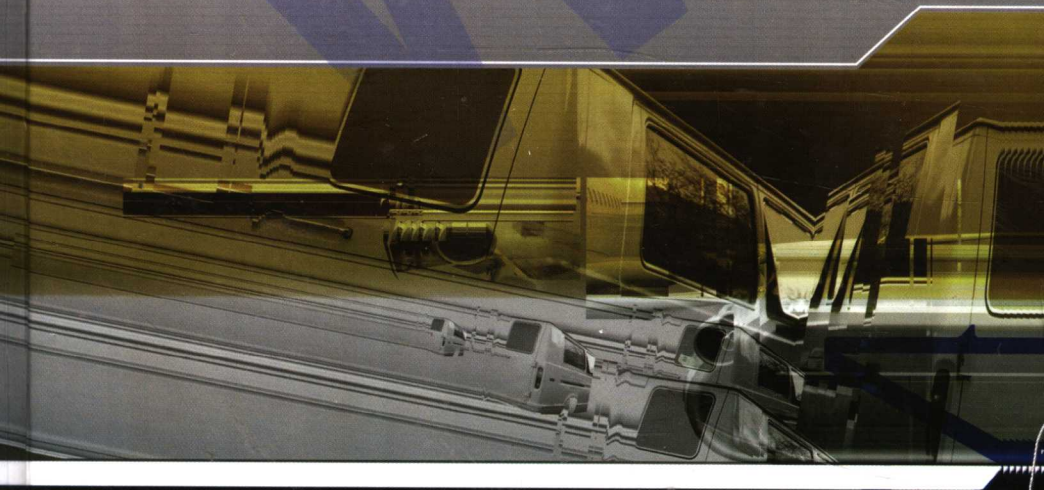


微特电机 应用手册

中国电器工业协会微电机分会 编著
西安微电机研究所



福建科学技术出版社

Fujian Science & Technology Publishing House

图书在版编目 (CIP) 数据

微特电机应用手册/中国电器工业协会微电机分会,
西安微电机研究所编著. —福州: 福建科学技术出版社,
2007. 11

ISBN 978-7-5335-2957-4

I. 微… II. ①中…②西… III. 电机-技术手册
IV. TM3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 089367 号

书 名	微特电机应用手册
编 著	中国电器工业协会微电机分会、西安微电机研究所
出版发行	福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
网 址	www.fjstp.com
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福建省地质印刷厂
开 本	850 毫米×1168 毫米 1/32
印 张	20.5
插 页	4
字 数	743 千字
版 次	2007 年 11 月第 1 版
印 次	2007 年 11 月第 1 次印刷
印 数	1—4 000
书 号	ISBN 978-7-5335-2957-4
定 价	46.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

国民经济建设和国防现代化建设的迅速发展,促进了国内微特电机技术进步和产量提高。目前国内微特电机的年产量已超过60亿台,占世界电机总量的60%以上。微特电机应用涉及国民经济和日常生活各个领域,品种规格繁多。因此了解各类微特电机的基本原理结构、性能特点和技术数据,是广大微特电机用户的迫切需要。

本手册从实用原则出发,比较系统地介绍了我国生产的各类微特电机的基本原理、结构、性能、选型及使用、常见故障维修、技术数据和外形尺寸,并介绍了部分国外产品及技术数据。手册注意贯彻国际标准、国家军用标准和国家标准及相关专业企业标准。

本手册第一章由黄大绪、于方编写,第二章由常力彬、高云峰等编写,第三章由任捷、谭建成、黄大绪、唐裕荣、牒正文、贾钰等编写,第四章由王祖奇、姜全荣、周建忠、牒正文、黄伟生、郭巧彬等编写。本手册由莫会成审定,牒正文负责全书的总校订。

在手册编写过程中,我们得到中国电器工业协会微电机分会、西安微电机研究所领导、兄弟厂家和有关院校的大力支持,在此表示衷心感谢。本手册的编写参考了有关书籍、手册、期刊、资料 and 标准,在此对原作者表示感谢。对手册中出现的错误和问题,敬请广大读者和同行批评指正。

编 者

2007年9月

目 录

第一章 微特电机基础

第一节 概述	(1)
一、微特电机技术发展	(1)
二、微特电机分类	(3)
三、微特电机主要用途	(5)
四、微特电机结构特点	(10)
五、微特电机产品名称代号	(11)
第二节 微特电机的安装、使用与维护	(15)
一、微特电机的正确安装	(15)
二、微特电机常用安装方法	(15)
三、微特电机使用与维护	(27)
四、微特电机使用条件	(28)
第三节 微特电机可靠性和安全性	(29)
一、微特电机可靠性	(29)
二、微特电机安全性	(30)

第二章 一般驱动微特电机

第一节 交流异步电动机	(31)
一、概述	(31)
二、三相异步电动机结构、原理和特性	(32)
三、高效异步电动机	(38)
四、单相异步电动机的结构、原理和特性	(41)
五、齿轮减速异步电动机	(50)
六、异步电动机的调节	(56)
七、异步电动机常见故障	(60)
八、异步电动机的应用	(62)
九、异步电动机产品技术数据	(75)
第二节 直流电动机	(138)
一、概述	(138)
二、直流电动机结构、原理和特性	(139)
三、直流电动机选型和应用	(145)

四、直流电动机常见故障及维护	(150)
五、直流电动机产品技术数据	(151)
第三节 交直流两用电动机	(179)
一、概述	(179)
二、交直流两用电动机结构、原理和特性	(180)
三、交直流两用电动机选型和应用	(181)
四、交直流两用电动机常见故障及维护	(184)
五、交直流两用电动机产品技术数据	(186)
第四节 同步电动机	(196)
一、概述	(196)
二、同步电动机结构和基本原理	(197)
三、同步电动机应用	(200)
四、同步电动机常见故障及维护	(202)
五、同步电动机产品技术数据	(202)
第五节 无刷直流电动机	(214)
一、概述	(214)
二、无刷直流电动机结构、原理和特性	(215)
三、无刷直流电动机的控制	(221)
四、无刷直流电动机选型和应用	(226)
五、无刷直流电动机产品技术数据	(231)

第三章 精密传动微特电机

第一节 直流伺服电动机	(245)
一、概述	(245)
二、直流伺服电动机结构、原理和特性	(248)
三、直流伺服电动机选型和应用	(252)
四、直流伺服电动机常见故障及维护	(268)
五、直流伺服电动机产品技术数据	(271)
第二节 直流力矩电动机	(289)
一、概述	(289)
二、直流力矩电动机结构、原理和特性	(291)
三、直流力矩电动机选型和应用	(294)
四、直流力矩电动机常见故障及维护	(303)
五、直流力矩电动机产品技术数据	(303)
第三节 两相交流伺服电动机	(317)

一、概述	(317)
二、两相交流伺服电动机结构、原理和特性	(319)
三、两相交流伺服电动机选型和应用	(324)
四、两相交流伺服电动机常见故障及维护	(339)
五、两相交流伺服电动机产品技术数据	(341)
第四节 交流力矩电动机	(353)
一、概述	(353)
二、交流力矩电动机结构、原理和特性	(353)
三、交流力矩电动机使用与维护	(355)
四、交流力矩电动机应用	(356)
五、交流力矩电动机产品技术数据	(357)
第五节 步进电动机	(359)
一、概述	(359)
二、步进电动机结构、原理和特性	(361)
三、步进电动机驱动电路	(366)
四、步进电动机选型和应用	(373)
五、步进电动机常见故障及维护	(385)
六、步进电动机产品技术数据	(388)
第六节 永磁交流伺服电动机	(413)
一、概述	(413)
二、永磁交流伺服电动机结构、原理和特性	(415)
三、永磁交流伺服电动机选型和应用	(423)
四、永磁交流伺服电动机维护	(425)
五、永磁交流伺服电动机产品技术数据	(426)
第七节 直线电动机	(430)
一、概述	(430)
二、直线电动机结构、原理和特性	(435)
三、直线电动机选型和应用	(447)
第八节 低速电动机	(461)
一、概述	(461)
二、低速电动机结构、原理和特性	(461)
三、低速电动机选型和应用	(472)
四、低速电动机产品技术数据	(476)
第九节 开关磁阻电动机	(479)
一、开关磁阻电动机结构、原理和特性	(479)

二、功率变换器.....	(482)
三、开关磁阻电动机应用.....	(483)

第四章 控制微特电机

第一节 自整角机	(490)
一、概述.....	(490)
二、力矩式自整角机.....	(492)
三、控制式自整角机.....	(492)
四、主要技术指标.....	(493)
五、自整角机选型和使用.....	(494)
六、自整角机应用.....	(502)
七、自整角机产品技术数据.....	(505)
第二节 旋转变压器	(514)
一、概述.....	(514)
二、旋转变压器基本原理和特性.....	(515)
三、旋转变压器选型和应用.....	(521)
四、旋转变压器常见故障及维护.....	(525)
五、旋转变压器应用.....	(526)
六、旋转变压器产品技术数据.....	(532)
第三节 测速发电机	(561)
一、概述.....	(561)
二、测速发电机结构、原理和特性.....	(561)
三、测速发电机选型和使用.....	(569)
四、测速发电机常见故障和维护.....	(571)
五、测速发电机应用.....	(573)
六、测速发电机产品技术数据.....	(578)
第四节 旋转编码器	(598)
一、概述.....	(598)
二、光电式编码器.....	(599)
三、磁性编码器.....	(602)
四、旋转编码器选型和使用.....	(608)
五、旋转编码器产品技术数据.....	(609)
第五节 电机扩大机	(625)
一、概述.....	(625)
二、电机扩大机结构、原理和特性.....	(625)

三、电机扩大机选型和应用	(629)
四、电机扩大机常见故障及维护	(631)
五、电机扩大机产品技术数据	(633)
附录一 微电机国家标准目录	(640)
附录二 微电机国家军用标准目录	(641)

第一章 微特电机基础

第一节 概述

一、微特电机技术发展

随着工业的进步和科学技术的飞速发展,社会生产力水平有了极大提高,人类社会已进入信息化和智能化时代;与此同时,作为工业传动、运输机械(主要是汽车工业)、家用电器及国防领域等使用的电机技术,也因能量转换的高效化和运动控制的智能化要求而发生着深刻变化。电机技术的发展和运用已成为现代社会文明最基本的技术支撑之一。

微特电机并非过去概念中的大、中、小电机的自然延伸,而是已逐渐形成具有独立的技术体系、产业体系和技术标准并且应用日益广泛的电机门类,已经成为电机技术领域中最具发展潜力和最活跃的分支。本手册把与传统感应电机、同步电机、直流电机相比,在工作原理上相同、制造工艺相近,但是在技术性能或功能以及在结构上有较大特点的电机统称为微特电机。与传统电机相比较,微特电机所具有的独立性和特殊性主要表现在以下三方面。

1. 功能多样性

功能多样性是微特电机区别于传统电机的重要标志之一,特别是伺服控制类电机,随着新型控制理论和电力电子技术的发展、新材料的应用以及运动控制的需要,其功能在不断增强。它不仅是提供更高转换效率的动力源,而且能提供伺服控制所需的加、减速运行和定位控制、自动调节、自适应等各种强大的控制功能。例如数控机床的主轴传动,若用矢量控制的感应式伺服电机代替三相感应电机,则直接把主轴电机与主轴连接成一体后装入主轴部件,即可将主轴转速大大提高。目前高速加工中心主轴最高转速达80000r/min。数控机床进给系统采用正弦波永磁交流伺服电动机后,不但使运动速度由原来的每分钟几米提高到240m/min,而且定位精度可达到0.1 μ m,电机的速度调节范围扩大10000倍以上,大大提高了加工精度和生产效率。如在装有高精度伺服电动机的立式加工中心上用陶瓷刀具加工一个NAC55钢模具只需13min,而在普通机床上需9h。而永磁交流伺服电动机由原来的电机本体发展成带有速度传感器、位置传感器和制动器的机组,其

位置传感器每转最高可产生 100 万个脉冲, 具有鲜明技术特征。

2. 环境要求特殊

应用在航空航天、舰船、野外作业、矿山等工业领域的特种电机, 不仅在功能上有特殊要求, 还要求满足一些特殊环境条件要求, 如高低温、高冲击、强振动、超高速、低气压等。例如, 超高速数控铣床要求主轴电机的转速高达 100000r/min, 有些则要求电机几小时甚至几天转一转; 有些要求电机耐受高温达 200℃, 低温 -55℃, 绝缘等级 H 级以上; 有些场合要求电机耐冲击振动达 30000g; 有些航天产品要求电机具有十分高的密封性能; 有的电子设备则要求电机具有防辐射、防漏磁和较严格的电磁兼容功能等等。这些特殊要求使电机设计的难度加大, 而制造工艺的难度更是普通电机所不及的。

3. 新理论、新技术和新材料不断应用

从 20 世纪 30 年代开始, 直流伺服调速系统就逐步得到了应用, 无换向器电机控制系统的研究几乎同时也开始。20 世纪末, 迅速发展的电力电子技术、微电子技术、计算机技术和现代控制理论赋予电机以新的生命, 不仅使交流传动的控制性能可与直流传动相媲美, 而且产生了诸如永磁无刷直流电动机、交流伺服电动机、开关磁阻电动机、无刷双馈电动机等一系列有别于传统电机的新型特种电机。

20 世纪 20 年代 Park 提出电机坐标变换理论, 1969 年 Hasse 提出矢量控制概念, 1971 年 Blaschke 完善交流电机矢量控制理论, 引起了交流电机调速控制的划时代变革, 为高性能的交流传动控制奠定了理论基础。1985 年 Depenbrock 提出了直接转矩控制。接着针对矢量变换控制中转子参数随温度变化和转差率变化难以准确测量而影响电机控制性能的问题, 产生了基于参数辨识的模型参考自适应控制和滑模变结构控制, 提高了系统对参数和模型的鲁棒性。

新材料的不断开发和应用, 特别是稀土永磁材料的迅速发展, 促进了高性能钕铁硼永磁电机不断涌现。纳米晶复合永磁的出现, 将稀土永磁电机的研究和发展推向一个新的阶段。为了满足各种应用的要求, 不断开发新型结构、采用新型材料、改进加工工艺仍是微特电机发展的重点, 如轴向盘式结构、拼块组合结构、片状绕组等, 而高性能稀土永磁、陶瓷合金、实心导磁体、高强度工程塑料等新型材料的广泛应用将对微特电机的技术发展产生深远的影响。

微特电机所涉及的学科和技术领域包括了电机技术、材料技术、微电子技术、电力电子技术、计算机技术和网络技术等, 属多学科、多技术领域交叉的复合技术。其未来向机电一体化、高性能化、小型化和微型化、大功率化和非电磁化方向发展。

二、微特电机分类

电机包括电动机和发电机两大类：电动机是指将电能转化为机械能（直线和旋转形式）的装置；发电机则相反，是指将机械能转换为电能的装置。微电机一般指功率在 750W 及以下，直径在 160mm 以下的电机，具有特殊用途、特定用途和规定用途的电机。微特电机除微电机外，还包括具有特殊性能、特殊用途的电机，如步进电动机等。本书所涉及的电机均属于微特电机范畴，因此除分类中叫微特电机外，在后面具体电机的介绍中就简称做微电机或电机。

（一）按功用分类

1. 驱动微特电机

驱动微特电机作为小型、微型动力，用来驱动各种机械负载。它的功率一般从数百毫瓦到数百瓦不等，高速情况下可达数千瓦；外壳外径一般不大于 160mm 或轴中心高不大于 90mm。

一般驱动微特电机有：交流异步电动机，直流电动机，交、直流两用电动机，同步电动机以及无刷直流电动机等；而精密传动微特电机有：直流伺服电动机、直流力矩电动机、两相交流伺服电动机、交流力矩电动机、步进电动机、永磁交流伺服电动机、直线电动机、低速电动机、开关磁阻电动机等。

2. 控制微特电机

控制微特电机在自动控制系统中作为检测、放大、执行和解算元件，用来对运动物体位置或速度进行快速和精确的控制。其功率一般从数百毫瓦到数百瓦，机壳外径一般是 12.5~130mm，质量从数十克到数千克。但是，在地面用设备和舰船用设备中的大功率自动控制系统中，控制微特电机功率有的大到 18.5kW，甚至更大；外径达 1000mm，甚至更大；质量达数十千克甚至几百千克。

控制微特电机按其特性可分为两类：信号元件类和功率（或机械能）元件类。凡是将运动物体的速度或位置（角位移、直线位移）等物理信号转换成电信号的都属于信号元件类控制微特电机，如自整角机、旋转变压器、感应移相器、感应同步器、旋转编码器、测速发电机等；凡是电信号转换为电功率的或将电能转换为机械能的都属于功率（或机械能）元件类控制微特电机，如同步电动机、步进电动机、力矩电动机、磁滞同步电动机、低速电动机等。

3. 电源微特电机

电源微特电机作为独立的小型能量转换装置，用来将机械能转换成电能或将一种能量转换成另一种能量。它的功率一般从数百瓦到数十千瓦。电源

微特电机在本书中仅介绍电机扩大机一种，而电机扩大机是自动控制系统中的旋转式功率放大元件，又称功率放大机，因此将其归入第四章中介绍。

(二) 按原理分类

上述分类是按功用或者特性进行的。为了体现微特电机产品体系，下面再按微特电机的运行原理统一进行分类，共分 7 大类，37 小类，见图 1-1-1。

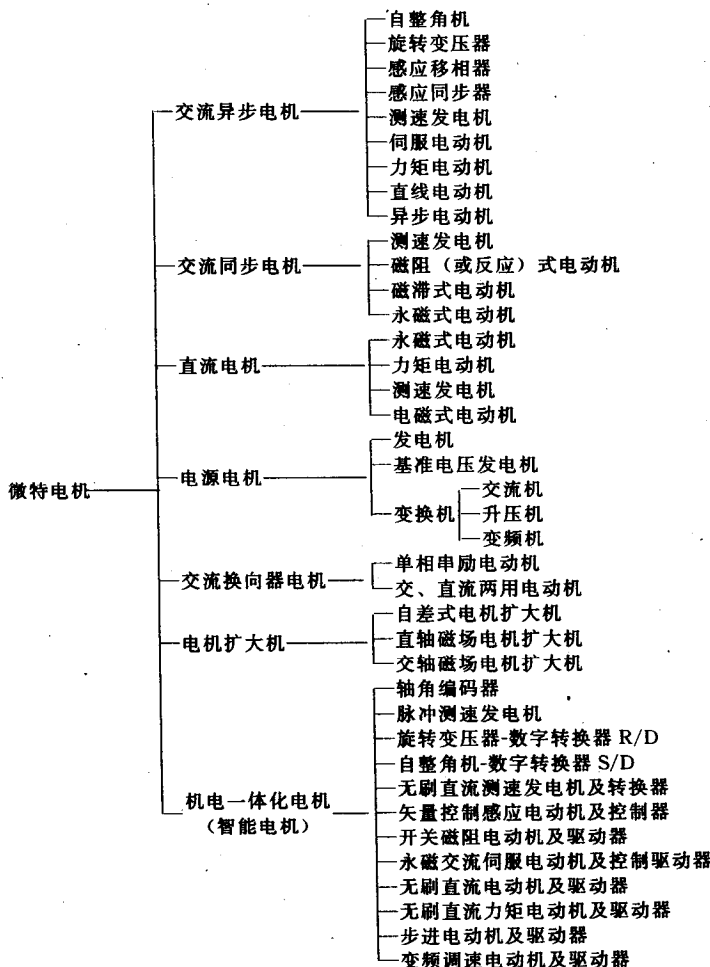


图 1-1-1 微特电机按运行原理分类

三、微特电机主要用途

微特电机的应用面广、涉及领域宽。家用电器、电子器械、汽车、工业产品、航空、航天、舰船是其主要应用领域。此外，在金融、交通、公用事业、医疗保健器械、健身器械，以及农、林、牧、渔等领域，各类微电机应用也非常多。

控制微特电机作为测量、放大、执行及解算元件，主要用于自动控制系统中，图 1-1-2 所示就是一个使用微特电机的简单控制系统。当信号侧给了一个转角或位置信号，通过齿轮自整角发送机转子就转过一相应的转角。这时，自整角变压器输出一个电压，该电压经放大器放大后作用于伺服电动机，伺服电动机得到信号后开始转动，经过减速齿轮带动自整角变压器转子转过与自整角发送机相同的转角，同时将这个转角或位置作用于其他的机械。例如，在夹取具有放射性的物体时，就可以利用它做成远距离或隔墙的机械手，只要在信号侧给予一个夹取物体的动作信号（位置或转角），则操作侧就可跟随信号侧将物体夹取。

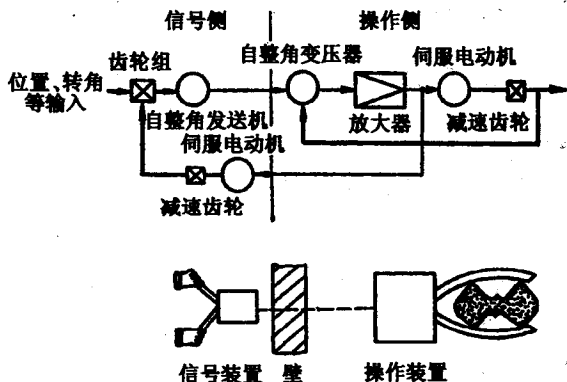


图 1-1-2 使用微特电机的控制系统

现将精密传动用微电机的基本用途介绍如下。

1. 交流伺服电动机

(1) 两相交流伺服电动机用于小功率伺服系统。

(2) 同步型（永磁）交流伺服电动机及异步型交流伺服电动机是新型机电一体化产品。其结构可靠，伺服性能优良。前者用于中高档数控机床的速度进给伺服系统及工业机器人关节驱动伺服系统；后者主要用于中高档数控

机床的主轴驱动伺服系统。

2. 直流伺服电动机

(1) 电磁式直流伺服电动机用于早期的伺服系统，作执行元件。

(2) 永磁式直流伺服电动机比电磁式的体积小、效率高、结构简单，广泛用于要求具有良好伺服性能的速度及位置伺服系统，如数控机床、火炮、机载雷达等伺服系统。

(3) 印制绕组、线绕盘式及空心杯电枢等直流伺服电动机均为无槽电枢永磁电机，具有时间常数小、理论加速度大、功率变化率大等优良快速响应性能，特别适用于作录像机、盒式录音机、电唱机、计算机外围设备及物镜变焦等驱动的执行元件。印制绕组、线绕盘式直流伺服电动机还可作雷达及数控机床的执行元件。

3. 无刷直流伺服电动机

其既具有直流伺服电动机的伺服特性，又具有交流伺服电动机的运行可靠、维护方便的优点，适用于伺服性能及可靠性要求高的伺服系统。

4. 力矩电动机

其在要求理论加速度大、速度与位置精度高、低速时具有大的转矩，且长期运行于零速状态的系统中用作执行元件。如炮塔、天文望远镜、卫星发射火箭等伺服系统，采用大转矩的力矩电动机直接驱动负载，而不用齿轮减速。

5. 步进电动机

其转速与施加的电脉冲严格成正比，且步距误差不积累。适用于经济型数控机床、绘图机、自动记录仪中作执行元件，以及转速要求恒定的装置，如在手表、打印机及走纸机中作驱动元件。

6. 开关磁阻电动机

其适用于电动车、纺织机械驱动、家用电器驱动等。

7. 直线电动机

其作为快速加减速，可用于缓冲和制动装置；作为推力，可用于升降机、传送带等；作为伺服性能，可用于门的开闭、送料装置及往复运动装置等。

微特电机较为典型的应用实例之一是车床。传统车床是采用普通电机为动力，经机械传动后使带工件的主轴旋转或带刀具的刀架移动（进给），进行车削加工。当今车床大多是采用微特电机作为动力，应用计算机控制工件和刀具做不同形式的运动，进行多切削加工，达到精密、多功能、全自动等的要求。以瑞士 Kummer 公司 K150 数控机床为例，该机床是精密、多功能、全自动的切削机床，切削零部件的精度达到磨削加工的精度。该机床为

三轴式，主轴由交流同步式伺服电动机直接驱动，电动机驱动功率 8kW，最高转速 6300r/min；另外两个轴即 X、Z 轴也是由交流同步式伺服电动机直接驱动，主轴沿 X、Z 方向运动，电动机输出功率 940W，转速为 2000r/min。

上述电气传动较复杂，所用微特电机中除了电动机外，还有交流测速发电机和编码器两种信号电机、电机驱动器、控制器以及计算机控制单元等。图 1-1-3 为数控三轴精密车床的电气传动框图。此外，该机床配有的刀具伺服机构、主轴温控装置以及机床温控部分等的冷却泵需用几百瓦输出功率的交流伺服电动机和交流异步电动机也属于微特电机范畴。

除传统应用领域外，微特电机也广泛地应用在计算机外围设备、办公设备、AV 设备、家用电器等领域。

(一) 用于计算机外围设备的电动机

表 1-1-1 列出了用于计算机外围设备的电动机的主要种类。

表 1-1-1 用于计算机外围设备的电动机

用途		电动机种类
冷却风扇		无刷直流电动机
FDD8.89cm	主轴	无刷直流电动机
	磁头驱动	步进电动机
CD-ROM	主轴	无刷直流电动机
	激光头驱动	有刷直流电动机
	光盘输入/弹出	有刷直流电动机
HDD	主轴	无刷直流电动机
	磁头驱动	直线直流电动机

(二) 用于办公设备的电动机

表 1-1-2 列出了用于办公设备的电动机的主要种类。

(三) 用于 AV 设备的电动机

表 1-1-3 列出了用于 AV 设备中的电动机的主要种类。

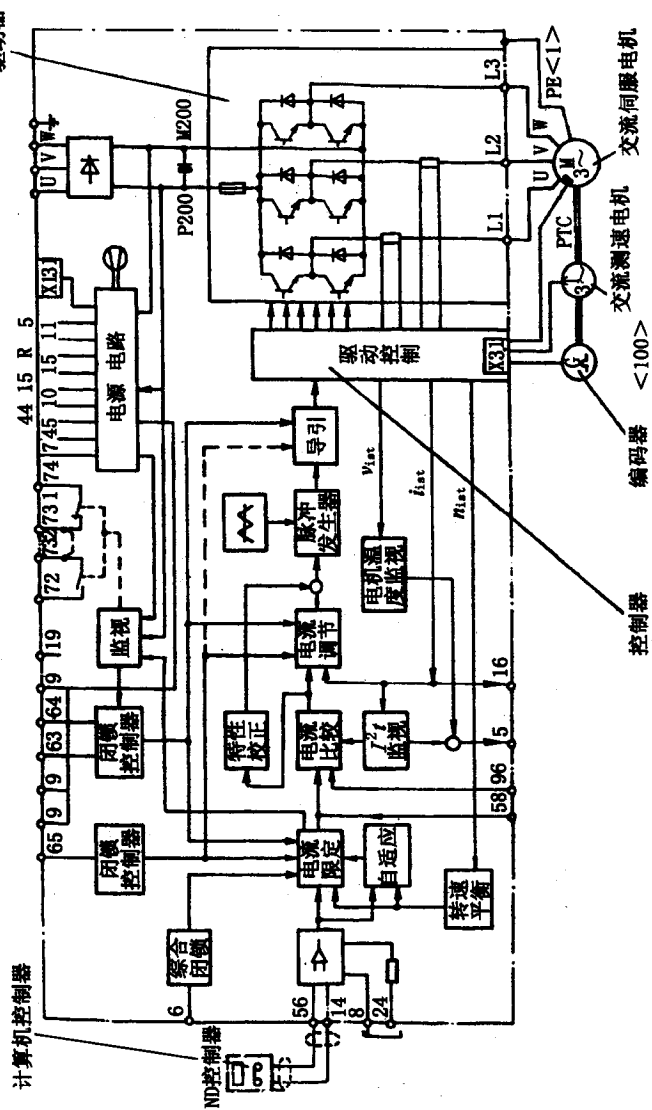


图 1-1-3 数控三轴精密车床的电气传动框图

表 1-1-2 用于办公设备的电动机

用途		电动机种类
传真机	进纸	步进电动机
	切纸	有刷直流电动机
打印机	激光扫描	无刷直流电动机
	输送驱动	步进电动机、有刷直流电动机
	进纸	步进电动机、有刷直流电动机、无刷直流电动机
复印机	激光扫描	无刷直流电动机
	原移读取驱动、轨道驱动	步进电动机、有刷直流电动机、无刷直流电动机
	磁头驱动	有刷直流电动机

表 1-1-3 用于 AV 设备的电动机

用途		电动机种类
录音机随身听	主动轮、磁带盘	有刷直流电动机，无刷直流电动机
CD LD	主轴	有刷直流电动机，无刷直流电动机
	激光头驱动	有刷直流电动机
	输入/弹出	有刷直流电动机
CD-ROM	主动轮、磁带盘	无刷直流电动机
	旋转磁头	无刷直流电动机
	输入/弹出	有刷直流电动机

(四) 用于家电产品的电动机

表 1-1-4 列出了主要家电产品使用的电动机的种类和驱动对象。

表 1-1-4 主要家电产品使用的电动机

家电名称	驱动对象	电动机种类
电风扇	风扇	感应电动机
室内空调	制冷机、风扇	感应电动机、无刷直流电机
	风向控制板	同步电动机