

# 数控机床运动 控制技术

◆ 主编 田春娥 金玉

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

百年大计 教育为本

# 数控机床运动控制技术

主 编 田春娥 金 玉  
参 编 谢 凯 臧敏娟 庄云峰 杨鹏飞  
主 审 邵泽强

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书以零基础为起点,强调对数控机床运动控制安装、调试技能的培养,注重可操作性和实用性,并加入了团队合作的学习操作内容,符合现代社会企业工匠人才的需求目标。

本书按项目制组织,全书由5个项目组成,主要包括:数控机床进给电动机驱动控制、数控机床主轴电动机驱动控制、CNC装置电气装调、数控机床刀架系统电气控制、数控机床辅助系统控制。内容贴合实际,易于操作实施,通过项目把数控机床运动控制进行切块,并在项目内部进一步细化成若干个任务,在任务中通过图形引导学生进行调试分析,让学生掌握数控机床运动分析的思路,提高学生进行独立分析调试的能力。

本书既可作为高等学校、技工学校、职业学校机电一体化专业、数控技术专业教学用书,也可作为企业职工培训教材。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

数控机床运动控制技术 / 田春娥, 金玉主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2020. 6  
(2020. 7 重印)

ISBN 978 - 7 - 5682 - 8524 - 7

I. ①数… II. ①田… ②金… III. ①数控机床 - 运动控制 - 教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 093126 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 涿州市新华印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 16

字 数 / 399 千字

版 次 / 2020 年 6 月第 1 版 2020 年 7 月第 2 次印刷

定 价 / 49.80 元

责任编辑 / 梁铜华

文案编辑 / 梁铜华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

# 江苏联合职业技术学院院本教材出版说明

江苏联合职业技术学院自成立以来，坚持以服务经济社会发展为宗旨、以促进就业为导向的职业教育办学方针，紧紧围绕江苏经济社会发展对高素质技术技能型人才的迫切需要，充分发挥“小学院、大学校”办学管理体制创新优势，依托学院教学指导委员会和专业协作委员会，积极推进校企合作、产教融合，积极探索五年制高职教育教学规律和高素质技术技能型人才成长规律，培养了一大批能够适应地方经济社会发展需要的高素质技术技能型人才，形成了颇具江苏特色的五年制高职教育人才培养模式，实现了五年制高职教育规模、结构、质量和效益的协调发展，为构建江苏现代职业教育体系、推进职业教育现代化做出了重要贡献。

我国社会的主要矛盾已经转化为人们日益增长的美好生活需要与发展不平衡不充分之间的矛盾，因此我们只有实现更高水平、更高质量、更高效益、更加平衡、更加充分的发展，才能全面实现新时代中国特色社会主义建设的宏伟蓝图。五年制高职教育的发展必须服从服务于国家发展战略，以不断满足人们对美好生活需要为追求目标，全面贯彻党的教育方针，全面深化教育改革，全面实施素质教育，全面落实立德树人根本任务，充分发挥五年制高职贯通培养的学制优势，建立和完善五年制高职教育课程体系，健全德能并修、工学结合的育人机制，着力培养学生的工匠精神、职业道德、职业技能和就业创业能力，创新教育教学方法和人才培养模式，完善人才培养质量监控评价制度，不断提升人才培养质量和水平，努力办好人民满意的五年制高职教育，为决胜全面建成小康社会、实现中华民族伟大复兴的中国梦贡献力量。

教材建设是人才培养工作的重要载体，也是深化教育教学改革、提高教学质量的重要基础。目前，五年制高职教育教材建设规划性不足、系统性不强、特色不明显等问题一直制约着内涵发展、创新发展和特色发展的空间。为切实加强学院教材建设与规范管理，不断提高学院教材建设与使用的专业化、规范化和科学化水平，学院成立了教材建设与管理工作领导小组和教材审定委员会，统筹领导、科学规划学院教材建设与管理工作，制定了《江苏联合职业技术学院教材建设与使用管理办法》和《关于院本教材开发若干问题的意见》，完善了教材建设与管理的规章制度；每年滚动修订《五年制高等职业教育教材征订目录》，统一组织五年制高职教育教材的征订、采购和配送；编制了学院“十三五”院本教材建设规划，组织 18 个专业和公共基础课程协作委员会推进了院本教材开发，建立了一支院本教材开发、编写、审定队伍；创建了江苏五年制高职教育教材研发基地，与江苏凤凰职业教育图书有限公司、苏州大学出版社、北京理工大学出版社、南京大学出版社、上海交通大学出版社等签订了战略合作协议，协同开发独具五年制高职教育特色的院本教材。

今后一个时期，学院将在推动教材建设和规范管理工作的基础上，紧密结合五年制高职教育发展新形势，主动适应江苏地方社会经济发展和五年制高职教育改革创新的需要，以学

院 18 个专业协作委员会和公共基础课程协作委员会为开发团队，以江苏五年制高职教育教材研发基地为开发平台，组织具有先进教学思想和学术造诣较高的骨干教师，依照学院院本教材建设规划，重点编写和出版约 600 本有特色、能体现五年制高职教育教学改革成果的院本教材，努力形成具有江苏五年制高职教育特色的院本教材体系。同时，加强教材建设质量管理，树立精品意识，制订五年制高职教育教材评价标准，建立教材质量评价指标体系，开展教材评价评估工作，设立教材质量档案，加强教材质量跟踪，确保院本教材的先进性、科学性、人文性、适用性和特色性建设。学院教材审定委员会将组织各专业协作委员会做好对各专业课程（含技能课程、实训课程、专业选修课程等）教材出版前的审定工作。

本套院本教材较好地吸收了江苏五年制高职教育最新理论和实践研究成果，符合五年制高职教育人才培养目标定位要求。教材内容深入浅出，难易适中，突出“五年贯通培养、系统设计”专业实践技能经验的积累，重视启发学生思维和培养学生运用知识的能力。教材条理清楚、层次分明、结构严谨、图表美观、文字规范，是一套专门针对五年制高职教育人才培养的教材。

学院教材建设与管理工作领导小组  
学院教材审定委员会  
2017 年 11 月

# 序 言

2015年5月,国务院印发关于《中国制造2025》的通知,通知重点强调提高国家制造业创新能力,推进信息化与工业化深度融合,强化工业基础能力,加强质量品牌建设,全面推行绿色制造及大力推动重点领域突破发展等,而高质量的技能型人才是实现这一发展战略的重要途径。

为全面贯彻国家对于高技能人才的培养精神,提升五年制高等职业教育机电类专业教学质量,深化江苏联合职业技术学院机电类专业教学改革成果,并最大限度地共享这一优秀成果,学院机电专业协作委员会特组织优秀教师及相关专家,全面、优质、高效地修订及新开发了本系列规划教材,并配备了数字化教学资源,以适应当前的信息化教学需求。

本系列教材所具特色如下:

- 教材培养目标、内容结构符合教育部及学院专业标准中制定的各课程人才培养目标及相关标准规范。

- 教材力求简洁、实用,编写上兼顾现代职业教育的创新发展及传统理论体系,并使之完美结合。

- 教材内容反映了工业发展的最新成果,所涉及的标准规范均为最新国家标准或行业规范。

- 教材编写形式新颖,教材栏目设计合理,版式美观,图文并茂,体现了职业教育工学结合的教学改革精神。

- 教材配备相关的数字化教学资源,体现了学院信息化教学的最新成果。

本系列教材在组织编写过程中得到了江苏联合职业技术学院各位领导的大力支持与帮助,并在学院机电专业协作委员会全体成员的一致努力下顺利完成了出版任务。由于各参与编写作者及编审委员会专家时间相对仓促,加之行业技术更新较快,教材中难免有不当之处,敬请广大读者予以批评指正,在此一并表示感谢!我们将不断完善与提升本系列教材的整体质量,使其更好地服务于学院机电专业及全国其他高等职业院校相关专业的教育教学,为培养新时期下的高技能人才做出应有的贡献。

江苏联合职业技术学院机电协作委员会  
2017年12月

# 前 言

“数控机床运动控制技术”是职业教育数控技术专业的一门专业平台课程。通过本课程的学习和项目训练，能说出常用数控机床的主轴、刀架、进给系统基本结构及其运动控制技术，具备数控机床运动控制部分安装、调试与维护的基础能力；能培养遵守操作规程、安全文明生产的良好习惯；具有严谨的工作作风和良好的职业道德。

教材内容的选取和结构安排是以职业教育学生的学情为依据，遵循学生知识与技能形成规律和学以致用原则，突出学生职业能力训练。理论知识的选取紧紧围绕完成工作任务的需要，同时又充分考虑了职业教育对理论知识学习的要求，融合了相关职业岗位对从业人员的知识、技能和态度的要求。教材项目选取是以数控车床的典型故障为突破点，凸显代表性和典型性，内容由浅入深、循序渐进、重点突出地介绍了数控机床电气故障诊断与维修技术的基础知识和技能，便于实施理实一体化和项目化教学，充分体现“做中学、学中做”的职业教学特色。

本书以企业岗位要求为本位，以“工作任务”为驱动进行编写，并让学生更易学习。本书共由5个项目21个任务组成，每个任务都体现了数控机床运动控制安装调试过程。

本书由连云港工贸高等职业技术学校的田春娥、金玉担任主编，无锡机电高等职业技术学校的邵泽强担任主审。参与本书编写的还有江苏省惠山中等专业学校的谢凯、臧敏娟、庄云峰，连云港工贸高等职业技术学校的杨鹏飞。

在本书编写过程中，参考了大量相关教材和资料，对原作者表示衷心的感谢。同时，还得到了盐城机电高等职业技术学校张国军、连云港工贸高等职业技术学校王琳的指导和帮助，在此一并表示衷心的感谢。由于编者水平有限和编写时间短促，书中不足之处在所难免，恳请批评指正。

编 者



# 《《《 目 录

<b>项目一 数控机床进给电动机驱动控制</b> .....	1
任务一 数控机床进给电动机概述 .....	1
任务二 步进电动机及其驱动控制分析 .....	12
任务三 交流进给电动机及其进给驱动控制安装 .....	28
任务四 交流进给电动机及其进给驱动控制调试 .....	50
<b>项目二 数控机床主轴电动机驱动控制</b> .....	63
任务一 数控机床主轴驱动概述 .....	63
任务二 通用变频器分析 .....	72
任务三 变频主轴安装 .....	79
任务四 变频主轴调试 .....	85
任务五 伺服主轴认知 .....	94
<b>项目三 CNC 装置电气装调</b> .....	101
任务一 CNC 装置概述 .....	101
任务二 CNC 接口分析 .....	120
任务三 CNC 装置连接安装 .....	132
任务四 CNC 装置调试与维护 .....	151
<b>项目四 数控机床刀架系统电气控制</b> .....	168
任务一 数控机床刀架系统认知 .....	168
任务二 数控机床刀架系统电气控制分析 .....	174
任务三 数控机床刀架系统安装 .....	182
任务四 数控机床刀架系统调试 .....	194
<b>项目五 数控机床辅助系统控制</b> .....	200
任务一 数控机床常见辅助系统认知 .....	200
任务二 数控机床冷却系统控制分析 .....	213
任务三 数控机床冷却控制系统安装 .....	224
任务四 数控机床冷却控制系统调试 .....	232
<b>附录</b> .....	240
<b>参考文献</b> .....	243



## 项目一 数控机床进给电动机驱动控制



### 知识目标

1. 认知数控机床常见进给电动机；
2. 掌握数控机床典型进给电动机控制特点。



### 技能目标

1. 能够进行数控机床典型进给电动机控制安装；
2. 能够进行数控机床典型进给电动机控制调试；
3. 能够对典型电动机做出选择。

## 任务一 数控机床进给电动机概述



### 任务描述

认知数控机床常见的进给电动机，掌握其分类及其结构特点，能够掌握其工作原理。



### 知识链接

数控机床对进给伺服电动机有一定的要求，其主要表现为：

- (1) 机械特性：要求伺服电动机的速降小、刚度大。
- (2) 快速响应的要求：这在轮廓加工，特别是对曲率大的加工对象进行高速加工时要求较严格。
- (3) 调速范围：可以使数控机床适用于各种不同刀具、加工材质的加工工艺。
- (4) 一定的输出转矩，一定的过载转矩：机床进给机械负载的性质主要是克服工作台



的摩擦力和切削的阻力，因此主要是“恒转矩”的性质。

数控机床进给电动机主要有步进电动机和交流伺服电动机。

## 一、步进电动机

步进式伺服驱动系统是典型的开环控制系统。在此系统中，执行元件是步进电动机。它受驱动控制线路的控制，将代表进给脉冲的电平信号直接变换为具有一定方向、大小和速度的机械转角位移，并通过齿轮和丝杠带动工作台移动。由于该系统没有反馈检测环节，它的精度较差，速度也受到步进电动机性能的限制。但它的结构和控制简单、容易调整，故在速度和精度要求不太高的场合具有一定的使用价值。

### 1. 步进电动机的种类

步进电动机的分类方式很多，常见的分类方式有按产生力矩的原理、按输出力矩的大小以及按定子的数量等。根据不同的分类方式，可将步进电动机分为多种类型，如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 步进电动机的分类

分类方式	具体类型
按产生力矩的原理	(1) 反应式：转子无绕组，由被激磁的定子绕组产生反应力矩实现步进运行。 (2) 激磁式：定、转子均有激磁绕组（或转子用永久磁钢），由电磁力矩实现步进运行
按输出力矩的大小	(1) 伺服式：输出力矩在百分之几至十分之几 $N \cdot m$ 只能驱动较小的负载，要与液压扭矩放大器配用，才能驱动机床工作台等较大的负载。 (2) 功率式：输出力矩在 $5 \sim 50 N \cdot m$ ，可以直接驱动机床工作台等较大的负载
按定子的数量	单定子式、双定子式、三定子式、多定子式
按各相绕组分布	(1) 径向分布式：电动机各相按圆周依次排列。 (2) 轴向分布式：电动机各相按轴向依次排列

### 2. 步进电动机的结构

目前，我国使用的步进电动机多为反应式步进电动机。在反应式步进电动机中，有轴向分相和径向分相两种，如表 1-1-1 所示。

图 1-1-1 所示为一典型的单定子、径向分相、反应式伺服步进电动机的结构原理。它与普通电动机一样，分为定子和转子两部分，其中定子又分为定子铁芯和定子绕组。定子铁芯由电工钢片叠压而成，其形状如图 1-1-1 所示。定子绕组是绕在定子铁芯 6 个均匀分布的齿上的线圈，在直径方向上相对的两个齿上的线圈串联在一起，构成一相控制绕组。图 1-1-1 所示的步进电动机可构成三相控制绕组，故也称三相步进电动机。若任一相绕组通电，便形成一组定子磁极，其方向即图中所示的 NS 极。在定子的每个磁极上，即定子铁芯上的每个齿上又开了 5 个小齿，齿槽等宽，齿间夹角为  $9^\circ$ ，转子上没有绕组，只有均匀分布的 40 个小齿，齿槽也是等宽的，齿间夹角也是  $9^\circ$ ，与磁极上的小齿一致。此外，三相定子磁极上的小齿在空间位置上依次错开  $1/3$  齿距，如图 1-1-2 所示。当 A 相磁极上的小齿与转子上的小齿对齐时，B 相磁极上的齿刚好超前（或滞后）转子齿  $1/3$  齿距角，C 相磁极齿超前（或滞后）转子齿  $2/3$  齿距角。

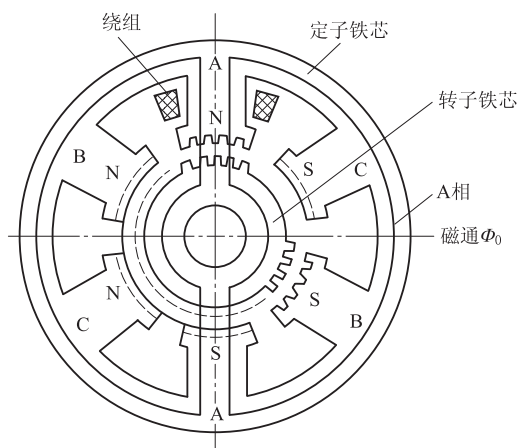


图 1-1-1 单定子、径向分相、反应式伺服步进电动机的结构原理

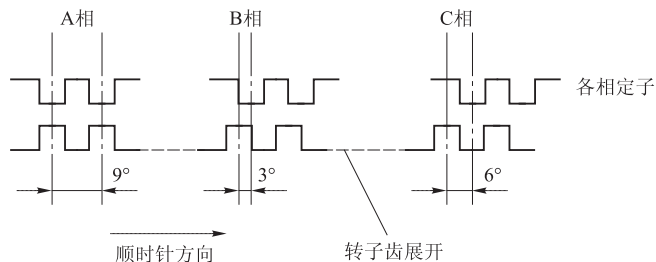


图 1-1-2 步进电动机的齿距

图 1-1-3 所示为一个五定子、轴向分相、反应式伺服步进电动机的结构原理。从图中可以看出，步进电动机的定子和转子在轴向分为五段，每段都形成独立的一相定子铁芯、定子绕组和转子，图 1-1-4 所示为其中的一段。各段定子铁芯形如内齿轮，由硅钢片叠成。转子形如外齿轮，也由硅钢片制成。各段定子上的齿在圆周方向均匀分布，彼此之间错开  $1/5$  齿距，其转子齿彼此不错位。设置在定子铁芯环形槽内的定子绕组通电时，便形成一相环形绕组，构成图中所示的磁力线。

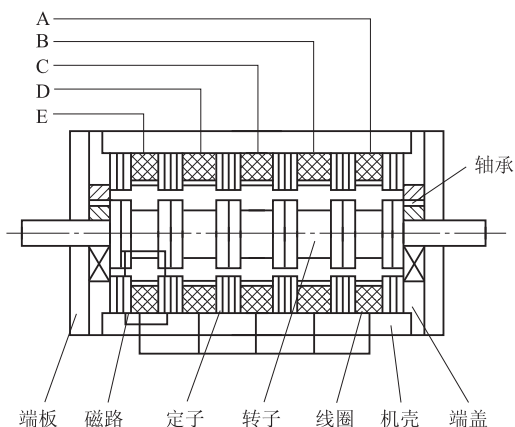


图 1-1-3 五定子、轴向分相、反应式伺服步进电动机的结构原理

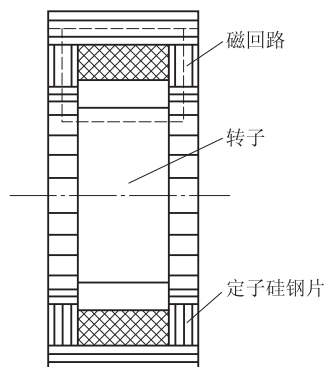


图 1-1-4 一段定子、转子及磁回路



除上面介绍的两种形式的反应式步进电动机之外，常见的步进电动机还有永磁式步进电动机和永磁反应式步进电动机，它们的结构虽不相同，但工作原理相同。

### 3. 步进电动机的工作原理

步进电动机的工作原理实际上是电磁铁的作用原理。图 1-1-5 所示为一种最简单的反应式步进电动机，下面以它为例来说明步进电动机的工作原理。

图 1-1-5 (a) 中，当 A 相绕组通以直流电流时，根据电磁学原理，便会在 AA 方向上产生一磁场，在磁场电磁力的作用下，吸引转子，使转子的齿与定子 AA 磁极上的齿对齐。若 A 相断电，B 相通电，则新磁场的电磁力又吸引转子的两极与 BB 磁极齿对齐，转子沿顺时针转过  $60^\circ$ 。通常，步进电动机绕组的通断电状态每改变一次，其转子转过的角度  $\alpha$  称为步距角。因此，图 1-1-5 (a) 所示步进电动机的步距角  $\alpha$  等于  $60^\circ$ 。如果控制线路不停地按  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A \dots$  的顺序控制步进电动机绕组的通断电，步进电动机的转子便不停地顺时针转动。若通电顺序改为  $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A \dots$ ，同理，步进电动机的转子将逆时针不停地转动。

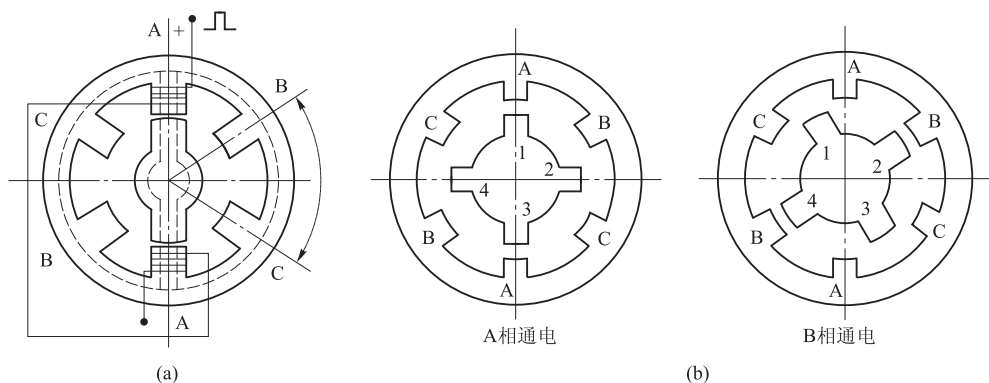


图 1-1-5 步进电动机的工作原理

上面所述的这种通电方式称为三相三拍。还有一种三相六拍的通电方式，它的通电顺序是：顺时针为  $A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CA \rightarrow A \dots$ ；逆时针为  $A \rightarrow AC \rightarrow C \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow BA \rightarrow A \dots$ 。

若以三相六拍通电方式工作，则当 A 相通电转为 A 相和 B 相同时通电时，转子的磁极将同时受到 A 相绕组产生的磁场和 B 相绕组产生的磁场的共同吸引，转子的磁极只好停在 A 相和 B 两相磁极之间，这时它的步距角  $\alpha$  等于  $30^\circ$ 。当由 A 和 B 两相同时通电转为 B 相通电时，转子磁极再沿顺时针旋转  $30^\circ$ ，与 B 相磁极对齐。其余以此类推。采用三相六拍通电方式，可使步距角  $\alpha$  缩小一半。

图 1-1-5 (b) 中的步进电动机，定子仍是 A、B、C 三相，每相两极，但转子不是两个磁极而是四个。当 A 相通电时，是 1 和 3 极与 A 相的两极对齐，很明显，当 A 相断电、B 相通电时，2 和 4 极将与 B 相两极对齐。这样，在三相三拍的通电方式中，步距角  $\alpha$  等于



30°；在三相六拍的通电方式中，步距角  $\alpha$  则为 15°。

综上所述，可以得到如下结论：

(1) 步进电动机定子绕组的通电状态每改变一次，它的转子便转过一个确定的角度，即步进电动机的步距角  $\alpha$ 。

(2) 改变步进电动机定子绕组的通电顺序，转子的旋转方向随之改变。

(3) 步进电动机定子绕组通电状态的改变速度越快，其转子旋转的速度越快，即通电状态的变化频率越高，转子的转速越高。

(4) 步进电动机步距角  $\alpha$  与定子绕组的相数  $m$ 、转子的齿数  $z$ 、通电方式  $k$  有关，可用下式表示：

$$\alpha = 360^\circ / (mzk)$$

式中， $m$  相  $m$  拍时， $k=1$ ； $m$  相  $2m$  拍时， $k=2$ ；以此类推。

对于图 1-1-1 所示的单定子、径向分相、反应式伺服步进电动机，当它以三相三拍通电方式工作时，其步距角为

$$\alpha = 360^\circ / (mzk) = 360^\circ / (3 \times 40 \times 1) = 3^\circ$$

若按三相六拍通电方式工作，则其步距角为

$$\alpha = 360^\circ / (mzk) = 360^\circ / (3 \times 40 \times 2) = 1.5^\circ$$

#### 4. 步进电动机的主要特性

(1) 步距角。步进电动机的步距角是反映步进电动机定子绕组的通电状态每改变一次，转子转过的角度。它是决定步进伺服系统脉冲当量的重要参数。数控机床中常见的反应式步进电动机的步距角一般为 0.3°~0.5°。步距角越小，数控机床的控制精度越高。

(2) 矩角特性、最大静态转矩  $M_{j\max}$  和启动转矩  $M_q$ 。矩角特性是步进电动机的一个重要特性，它是指步进电动机产生的静态转矩与失调角的变化规律。

(3) 启动频率  $f_q$ 。空载时，步进电动机由静止突然启动，并进入不丢步的正常运行所允许的最高频率，称为启动频率或突跳频率。若启动时频率大于突跳频率，步进电动机就不能正常启动。空载启动时，步进电动机定子绕组通电状态变化的频率不能高于该突跳频率。

(4) 连续运行的最高工作频率  $f_{\max}$ 。步进电动机连续运行时，它所能接受的，即保证不丢步运行的极限频率，称为最高工作频率。它是决定定子绕组通电状态最高变化频率的参数，它决定了步进电动机的最高转速。

(5) 加减速特性。步进电动机的加减速特性是描述步进电动机由静止到工作频率和由工作频率到静止的加减速过程中，定子绕组通电状态的变化频率与时间的关系。当要求步进电动机启动到大于突跳频率的工作频率时，变化速度必须逐渐上升；同样，从最高工作频率或高于突跳频率的工作频率停止时，变化速度必须逐渐下降。逐渐上升和下降的加速时间、减速时间不能过小，否则会出现失步或超步。我们用加速时间常数  $T_a$  和减速时间常数  $T_d$  来描述步进电动机的升速和降速特性，如图 1-1-6 所示。

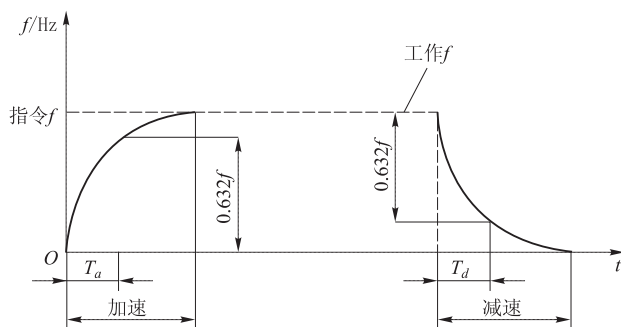


图 1-1-6 加减速特性曲线

## 二、交流伺服电动机

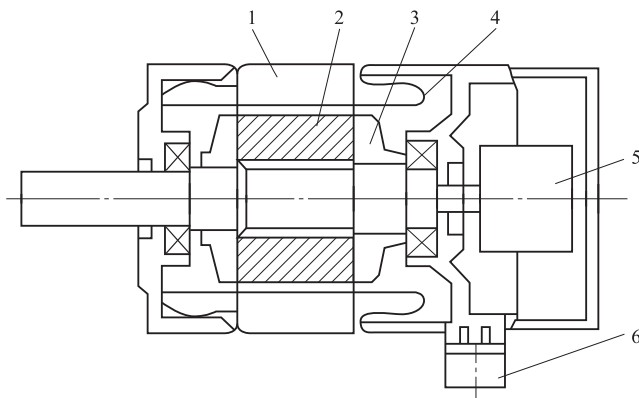
### 1. 交流伺服电动机的类型：永磁式交流伺服电动机和感应式交流伺服电动机

共同点：工作原理均由定子绕组产生旋转磁场使得转子跟随定子旋转磁场一起运转。

不同点：永磁式伺服电动机的转速与外加交流电源的频率存在着严格的同步关系，即电动机的转速等于旋转磁场的同步转速；而由于感应式伺服电动机需要转速差才能产生电磁转矩，因此，电动机的转速低于磁场同步转速，负载越大，转速差越大。

### 2. 永磁交流伺服电动机结构与工作原理

电动机结构：由定子、转子和检测元件组成，如图 1-1-7 所示。



1—定子；2—转子；3—压板；4—定子三相绕组；5—脉冲编码器；6—接线盒。

图 1-1-7 永磁交流伺服电动机的结构

工作原理：定子三相绕组接上电源后，产生一个旋转磁场，该旋转磁场以同步转速  $n_0$  旋转；定子旋转磁场与转子的永久磁铁磁极相互吸引，并带动转子以同步转速  $n_0$  一起旋转；当转子轴上加有负载转矩后，造成定子磁场轴线与转子磁极轴线不重合，相差一个  $\theta$  角，负载转矩发生变化时， $\theta$  角也发生变化。只要不超过一定限度，转子始终跟随定子的旋转磁场以同步转速  $n_0$  旋转。



## 任务实施

### 参照以下步骤为 CK6130 选择步进电动机

#### 1. 步进电动机转矩的选择

步进电动机的保持转矩，近似于传统电动机所称的“功率”。当然，它们有着本质的区别。步进电动机的物理结构完全不同于交流、直流电动机，电动机的输出功率是可变的。通常根据需要的转矩大小（即所要带动物体的扭力大小）来选择哪种型号的电动机。大致来说，扭力在  $0.8 \text{ N} \cdot \text{m}$  以下，选择 20、28、35、39、42（电动机的机身直径或方度，单位：mm）规格的电动机；扭力在  $1 \text{ N} \cdot \text{m}$  左右的，选择 57 电动机较为合适；扭力在几牛米或更大的情况下，就要选择 86、110、130 等规格的步进电动机。

#### 2. 步进电动机转速的选择

对于电动机的转速也要特别考虑，因为电动机的输出转矩与转速成反比。也就是说，步进电动机在低速（每分钟几百转或更低转速）状态下的输出转矩较大，在高速（ $1\,000 \sim 9\,000 \text{ r/min}$ ）状态下的转矩很小。当然，有些工况环境需要高速电动机，这就需要对步进电动机的线圈电阻、电感等指标进行衡量了。选择电感稍小一些的电动机，作为高速电动机，能够获得较大的输出转矩。反之，在要求低速大力矩的情况下，就要选择十几 mH 或几十 mH 的电感，电阻也要大一些为好。

#### 3. 步进电动机空载启动频率的选择

步进电动机空载启动频率，通常称为“空起频率”，这是选购电动机比较重要的一项指标。如果要求在瞬间频繁启动、停止，并且转速在  $1\,000 \text{ r/min}$  左右（或更高），通常需要“加速启动”。如果需要直接启动达到高速运转，最好选择反应式或永磁式电动机，因为这些电动机的“空起频率”都比较高。

#### 4. 步进电动机的相数选择

在步进电动机的相数选择上，很多客户不重视，大多是随便购买。其实，不同相数的电动机，工作效果是不同的。相数越多，步距角就能够做得比较小，工作时的振动就相对小一些。在大多数场合，使用两相电动机比较多。在高速大力矩的工作环境，选择三相步进电动机是比较实用的。

#### 5. 步进电动机使用环境的选择

特种步进电动机能够防水、防油，用于某些特殊场合。例如水下机器人，就需要防水电动机。对于特种用途的电动机，就要有针对性地进行选择了。

#### 6. 特殊规格步进电动机的选择

根据实际情况选择特殊规格的步进电动机，如输出轴的直径、长短、伸出方向等。



## 7. 步进电动机的确认

如有必要，最好与厂家的技术工程师进一步沟通与确认型号。



### 任务评价

根据任务完成过程中的表现，填写表 1-1-2。

表 1-1-2 任务评价

项目	评价要素	评价标准	自我评价	小组评价	综合评价
知识准备	资料准备	参与资料收集、整理，自主学习			
	计划制订	能初步制订计划			
	小组分工	分工合理，协调有序			
任务过程	步进电动机转矩选择	操作正确，熟练程度			
	步进电动机转速选择	操作正确，熟练程度			
	步进电动机频率选择	操作正确，熟练程度			
	步进电动机相数选择	操作正确，熟练程度			
	步进电动机防护选择	操作正确，熟练程度			
拓展能力	知识迁移	能实现前后知识的迁移			
	应变能力	能举一反三，提出改进建议或方案			
学习态度	主动程度	自主学习主动性强			
	合作意识	协作学习，能与同伴团结合作			
	严谨细致	仔细认真，不出差错			
	问题研究	能在实践中发现问题，并用理论知识解决实践中的问题			
安全规程		遵守操作规程，安全操作			



### 任务拓展

#### 一、直线电动机

直线电动机是一种将电能直接转换成直线运动机械能，而不需要任何中间转换机构的传动装置。它可以被看成一台旋转电动机按径向剖开，并展成平面而成。

直线电动机也称线性电动机、线性马达、直线马达或推杆马达。最常用的直线电动机类型是平板式、U形槽式和管式。线圈的典型组成是三相，由霍尔元件实现无刷换相。

直线电动机明确显示转子（rotor）的内部绕组、磁铁和磁轨。直线电动机结构如图 1-1-8 所示。

直线电动机经常被简单描述为旋转电动机被展平，其工作原理相同。转子是用环氧材料把线圈压缩在一起制成的；磁轨是把磁铁（通常是高能量的稀土磁铁）固定在钢上。电动



机的转子包括线圈绕组、霍尔元件电路板、电热调节器（温度传感器监控温度）和电子接口。在旋转电动机中，转子和定子需要旋转轴承支撑转子以保证相对运动部分的气隙（air gap）。同样的，直线电动机需要直线导轨来保持转子在磁轨产生的磁场中的位置。和旋转伺服电动机的编码器安装在轴上反馈位置一样，直线电动机需要反馈直线位置的反馈装置——直线编码器，它可以直接测量负载的位置，从而提高负载的位置精度。

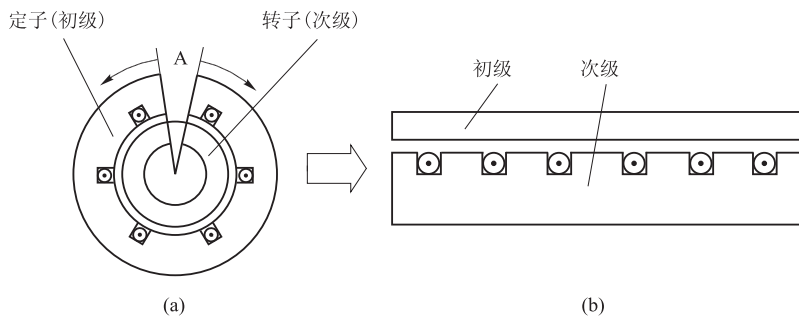


图 1-1-8 直线电动机结构  
(a) 沿径向剖开；(b) 把圆周展成直线

直线电动机的控制和旋转电动机一样。像无刷旋转电动机，转子和定子无机械连接（无刷），与旋转电动机不同的是：转子旋转和定子位置保持固定，直线电动机系统可以是磁轨动或推力线圈动（大部分定位系统应用的是磁轨固定，推力线圈动）。用推力线圈运动的电动机，推力线圈的重力和负载比很小。然而，需要高柔性线缆及其管理系统。用磁轨运动的电动机，不仅要承受负载，还要承受磁轨重力，但无须线缆管理系统。

由于相似的机电原理用在直线和旋转电动机上，直线电动机使用和旋转电动机相同的控制和可编程配置。直线电动机的形状可以是平板式、U形槽式及管式。哪种构造最适合要看实际应用的规格要求和工作环境。

## 二、电动机运用领域

电动机应用遍及信息处理、音响设备、汽车电气设备、国防、航空航天、工农业生产以及日常生活的各个领域。目前电动机有以下七大应用领域。

### 1. 电气伺服传动领域

在要求速度控制和位置控制（伺服）的场合，特种电动机的应用越来越广泛。开关磁阻电动机、永磁无刷直流电动机、步进电动机、永磁交流伺服电动机、永磁直流电动机等都已数控在数控机床、工业电气自动化、自动生产线、工业机器人以及各种军民用装备等领域获得了广泛应用。如交流伺服电动机驱动系统应用在凹版印刷机中，以其高控制精度实现了极高的同步协调性，使这种印刷设备具有自动化程度高、套准精度高、承印范围大、生产成本低、节约能源、维修方便等优势。在工业缝纫机中，随着永磁交流伺服电动机控制系统、无刷直流电动机控制系统、混合式步进电动机控制系统的大量使用，工业缝纫机向自动化、智能化、复合化、集成化、高效化、无油化、高速化、直接驱动化方向快速发展。

### 2. 信息处理领域

信息技术和信息产业以微电子技术为核心，以通信和网络为先导，以计算机和软件为基