



应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材

机床电气 与PLC应用

郑钧宜 黄 媛 刘艳丽 主 编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材

机床电气与 PLC 应用

主 编 郑钧宜 黄 媛 刘艳丽

副主编 姜存学 刘 辉 秦 伟 林明玉

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 提 要

本书内容充实,体例新颖,图文并茂,易于学习。全书共分六章,内容包括机床驱动电动机基础、机床常用低压电器、机床电气控制电路的基本环节、可编程控制器(PLC)、典型机床电气控制电路及电路设计基础、典型机床 PLC 控制系统设计。

各章设有内容提要、教学导航、本章小结、思考复习题;结构合理,重点突出,实用性强,深入浅出地阐述机床电气控制与 PLC 应用,使学生能很快地掌握机床电气控制系统的分析和设计的基本能力。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化、机械电子工程、电气工程及其自动化等专业的教材,也可供其他相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机床电气与 PLC 应用/郑钧宜,黄媛,刘艳丽主编. —武汉:华中科技大学出版社,2014.10
ISBN 978-7-5680-0469-5

I. ①机… II. ①郑… ②黄… ③刘… III. ①机床-电气控制-高等学校-教材 ②plc 技术-高等学校-教材 IV. ①TG502.35 ②TM571.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 244031 号

机床电气与 PLC 应用

郑钧宜 黄媛 刘艳丽 主编

策划编辑:袁 冲

责任编辑:胡凤娇

封面设计:李 嫒

责任校对:马燕红

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15.5

字 数:382 千字

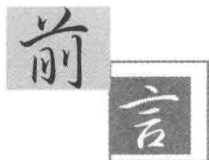
版 次:2015 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:39.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



机床电气控制是机床必不可少的重要组成部分,随着机床自动化程度的不断提高,单纯的继电器-接触式控制系统已不能满足工业生产自动化要求,兼备计算机控制和继电器控制两个方面优点的可编程控制器,已被普遍应用于工业控制。

全书共分六章,包括机床驱动电动机基础、机床常用低压电器、机床电气控制电路的基本环节、可编程控制器(PLC)、典型机床电气控制电路及电路设计基础、典型机床 PLC 控制系统设计。书后附录列出了常用机床电气元件的图形与文字符号,便于学生学习时查找。

本书以培养学生的基本技能为目标,采用通俗易懂的图形符号,对机床电气控制电路的工作原理进行描述,使学生不仅能快速掌握机床控制电路的工作过程,而且能充分了解电路中电气元件的状态变化及其变化原因,牢固掌握电气控制电路的基本内容。全书以机床电气控制电路的基本环节为主线,对复杂控制电路的讲解采用先“化整为零”,再“聚零为整”的方式;书中不仅介绍了机床继电器-接触式控制系统,而且还介绍了机床电气控制系统的 PLC 应用。电气元件的技术数据采用图表形式给出,图文并茂,激发学生的学习兴趣。各章均设有内容摘要和教学导航,并由此给出本章的知识要点和技术要点;各章末尾处均设有本章小结,对本章的基本概念和基本内容进行高度概括和总结。思考复习题采用多样化形式,以此考查学生对基本内容和重要概念掌握的准确度以及对基本技能掌握的熟练程度。

本书是集体智慧的结晶。由郑钧宜、黄媛和刘艳丽主编,参加编写的还有:湖北工业大学商贸学院的刘辉、林明玉老师;大连工业大学秦伟老师;江汉大学文理学院的姜存学老师。

在本书编写过程中,编者参考了大量的国内外相关资料,由于篇幅有限,未能一一列举,在此向相关学者一并表示衷心感谢。由于编者的编写水平有限,书中的错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

第 1 章 机床驱动电动机基础	(1)
1.1 直流电动机基础	(1)
1.2 异步电动机基础	(11)
本章小结	(21)
思考复习题 1	(22)
第 2 章 机床常用低压电器	(24)
2.1 低压电器的基础知识	(25)
2.2 低压隔离开关	(29)
2.3 主令电器	(35)
2.4 接触器	(41)
2.5 继电器	(45)
2.6 执行电器	(56)
2.7 保护电器	(58)
本章小结	(64)
思考复习题 2	(64)
第 3 章 机床电气控制电路的基本环节	(66)
3.1 机床电气原理图及其绘制原则	(67)
3.2 机床常用电气控制环节	(70)
3.3 机床中的电液控制	(81)
本章小结	(85)
思考复习题 3	(85)
第 4 章 可编程控制器(PLC)	(87)
4.1 PLC 概述	(88)
4.2 PLC 的组成和工作原理	(90)
4.3 PLC 的编程语言	(95)
4.4 三菱 FX2N 系列 PLC 应用基础	(98)
本章小结	(139)
思考复习题 4	(139)



第 5 章 典型机床电气控制电路及电路设计基础	(142)
5.1 C650 型卧式车床的电气控制电路	(143)
5.2 M7130 型卧轴矩台平面磨床电气控制电路	(147)
5.3 T68 型卧式镗床电气控制电路	(150)
5.4 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路	(156)
5.5 钻铰组合机床电气控制电路	(161)
5.6 机床电气控制电路的设计	(166)
本章小结	(177)
思考复习题 5	(178)
第 6 章 典型机床 PLC 控制系统设计	(180)
6.1 机床 PLC 控制系统设计原则和步骤	(181)
6.2 机床 PLC 控制系统设计举例	(183)
本章小结	(226)
思考复习题 6	(226)
附录 A 机床电气控制电路常用图形与文字符号新旧标准对照表	(229)
附录 B 三菱 FX2N 系列 PLC 的特点及系统配置	(235)
参考文献	(240)

第 1 章 机床驱动电动机基础

【内容提要】

内 容 提 要	知识要点	(1)直流电动机的工作原理、结构特点、图形及文字符号； (2)交流电动机的工作原理、结构特点、图形及文字符号； (3)直流电动机的机械特性、电气控制； (4)交流电动机的机械特性、电气控制。
	技术要点	(1)直流电动机的调速方法及机械特性； (2)交流电动机的调速方法及机械特性。

【教学导航】



机床电气控制主要是对机床驱动电动机的控制,驱动电动机包括普通电动机和控制电动机,控制方法有继电器-接触器控制、PLC 控制及计算机数字控制等。普通机床的驱动电动机为普通电动机。普通电动机有直流电动机和交流电动机两大类,控制方法大多采用继电器-接触器控制。随着计算机数字技术、PLC 技术及变频技术的发展,新的控制方法在机床上的应用也日益广泛,采用 PLC 代替继电器-接触器控制的设备,能简化电路、降低故障率且便于维护。机床电气控制的主要对象是电动机,因此,要学好机床电气及 PLC 应用的前提是先了解和掌握机床驱动电动机及其拖动的基本知识。

1.1 直流电动机基础

直流电动机具有启动转矩大、便于大范围平滑调速及转速稳定等优点,但需要换向装置,同时又有结构较复杂、价格昂贵、维护维修较困难等缺点。

到目前为止,虽然交流电动机的调速问题已得到解决,但对调速要求较高的生产机械,

仍然采用直流电动机来驱动。

1.1.1 直流电动机的基本结构及工作原理

1. 直流电动机的基本结构

直流电动机由定子(静止部分)和转子(转动部分)两大部分组成。其基本的工作原理是建立在电磁感应和电磁力的基础上的,因此,这两大部分包括了基于其工作原理的主磁极、电枢、电刷装置及换向器等主要部件。主磁极、电刷装置在定子部分,电枢、换向器在转子部分。转子和定子两部分由空气隙分开。

图 1-1 所示为典型直流电动机的基本结构图,各主要部件分别介绍如下。

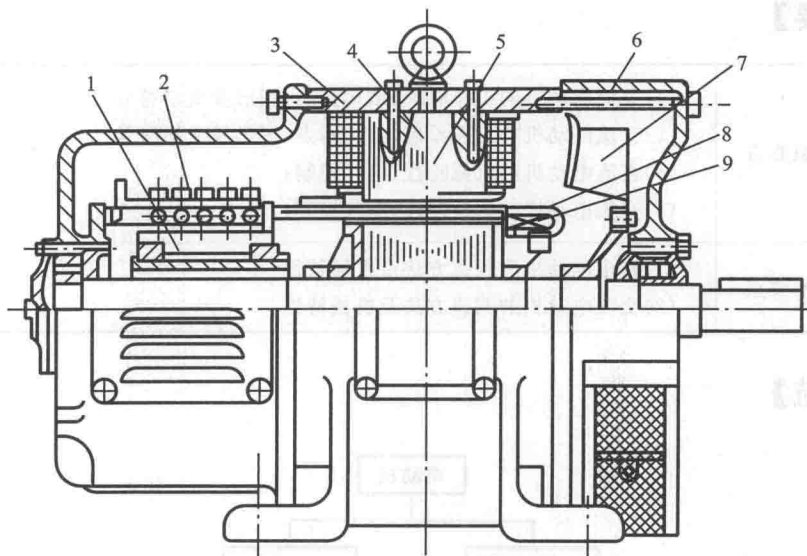


图 1-1 典型直流电动机的基本结构图

1、5—换向器；2—电刷装置；3—机座；4—主磁极；6—端盖；7—风扇；8—电枢绕组；9—电枢铁芯

1) 主磁极

主磁极由铁芯和套在铁芯上的励磁绕组组成。其主要作用是产生主磁场。为了减小励磁涡流,铁芯通常用低碳钢片冲压叠成,铁芯的上部称为极身,下面扩大部称为极靴,极靴的作用是使通过空气隙中的磁通分布更为均衡。

2) 电枢

电枢包括电枢铁芯、电枢绕组、换向器及转轴。

为了减小电动机磁通变化产生的涡流损耗,电枢铁芯通常采用硅钢片冲压叠成,并在铁芯槽内嵌入电枢绕组。因此,电枢铁芯的作用有两个:一是作为磁路的一部分;二是将电枢绕组安放在铁芯槽内。

电枢绕组由许多形状相同的线圈按一定的排列规律连接而成。每个线圈都有两个边分别嵌在电枢铁芯槽里,这两个边称为有效边,其作用是产生感应电动势和电磁转矩。

3) 电刷装置及换向器

电刷装置包括电刷及电刷座。电刷与换向器保持滑动接触,其作用有两个:一是使转子



绕组与电动机外部电路接通；二是与换向器配合，完成直流电动机外部直流电与内部交流电的互换。换向器中有多个换向片，换向片与换向片之间由云母板隔离绝缘。换向器与电刷装置配合，在直流电动机中能将电枢绕组中的交流电动势或交流电流变成电刷两端的直流电动势或直流电流，是直流电动机的关键部件。

2. 直流电动机的工作原理

直流电动机是将直流电能转换成机械能的电气装置，其工作时，首先要在励磁绕组上通入直流励磁电流，产生恒定磁场，再通过电刷装置和换向器向电枢绕组通入直流电流，使电枢绕组有效边流过电流后，在磁场中产生电磁力（电磁转矩），从而驱动电动机转动。

直流电动机的工作原理模型图如图 1-2 所示。

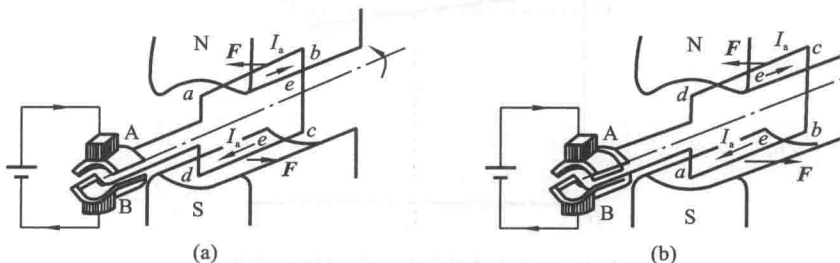


图 1-2 直流电动机的工作原理模型图

图 1-2 中，N、S 为定子中的一对主磁极， $abcd$ 是安放在电枢铁芯上的一个线圈，线圈的首端、末端 a 、 d 连接到相互绝缘并可随线圈一同旋转的两个换向片上。直流电动机的外加电压通过电刷 A、B 及换向器中的换向片加到线圈上，从而在线圈的有效边上产生电磁力，形成电磁转矩。电磁转矩的方向为逆时针，使直流电动机保持逆时针旋转。当线圈转过 180° ，如图 1-2(b) 所示，在电刷及换向片的共同作用下，线圈中的电流方向改变，电磁转矩方向仍为逆时针，使直流电动机一直保持逆时针方向旋转。通过换向器，电刷 A 始终和 N 极下的导线相连，电刷 B 始终和 S 极下的导线相连，使得在 N 极与 S 极下的导线电流方向始终保持不变，所以，直流电动机的电磁转矩和旋转方向始终保持不变。

1.1.2 直流电动机的机械特性

直流电动机的机械特性是指直流电动机在电枢电压、励磁电流及电枢回路电阻均为常数的条件下，即电动机处于稳态运行时，电动机的转速与电磁转矩之间的关系

$$n = f(T)$$

直流电动机的机械特性一般表达式如下：

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R}{C_e C_T \Phi^2} T = n_0 - \beta T = n_0 - \Delta n \quad (1-1)$$

式中： n ——直流电动机的转速；

C_e ——直流电动机的电动势常数；

Φ ——直流电动机的主磁通；

C_T ——直流电动机的转矩常数；

R ——电枢回路电阻；

T ——直流电动机的电磁转矩。

直流电动机的机械特性具有如下特点。

(1) $T=0$ 时, $n_0 = \frac{U}{C_e \Phi}$, 称为理想空载转速, 实际上, 直流电动机总存在空载制动转矩, 使直流电动机靠本身的作用不可能上升到 n_0 , 这就是“理想”的含义。

(2) 直流电动机的机械特性曲线为一条下降的直线, 如图 1-3 所示, 即当直流电动机的转矩增加时, 直流电动机的转速比空载转速有所下降, $\Delta n = \frac{R}{C_e C_T \Phi^2} T$, 称为转速降落值。

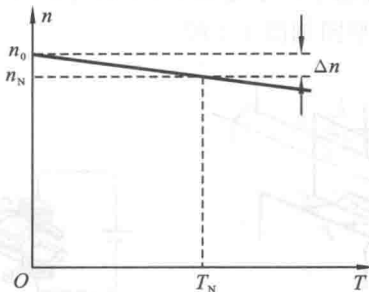


图 1-3 直流电动机的机械特性曲线图

(3) $T=T_N$ 时, $n=n_N$, 为电动机额定工作点, 其中 T_N 为额定转矩, n_N 为额定转速。

(4) $U=U_N, \Phi=\Phi_N, R=R_a$ 时的机械特性称为固有机械特性, 直流电动机的固有机械特性曲线较硬, 即直流电动机所带负载变化大时, 其转速变化较小, 运行的稳定性较好。

(5) $n=0$, 即当直流电动机启动或堵转时, 启动转矩 T_{st} 和启动电流 I_{st} 都比额定值大很多, 会损坏直流电动机的换向器。

(6) 改变直流电动机的电枢电压、磁通和电枢电阻得到的机械特性称为人为机械特性。通过改变电枢电压、磁通、电枢电阻而改变直流电动机的机械特性时, 也可改变直流电动机的转速。

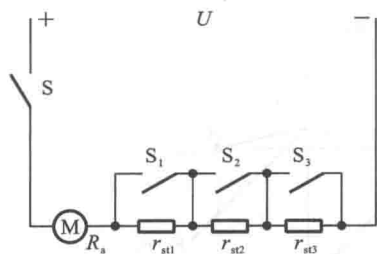
1.1.3 直流电动机的启动

直流电动机的启动电流和启动转矩都很大, 易损坏换向器。直流电动机启动时要将电流限制在允许值之内, 其常用的启动方法有电枢串入电阻启动和降压启动。

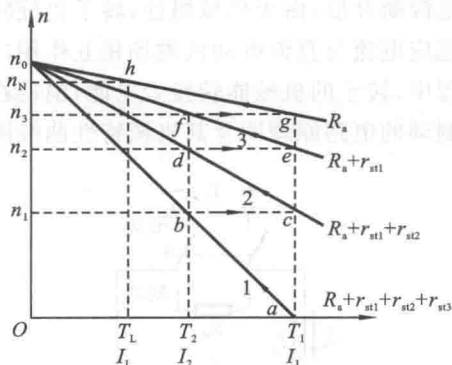
1. 电枢串入电阻启动

为了限制直流电动机的启动电流, 直流电动机常采用电枢回路串入多级电阻逐级切除启动电阻的方法进行启动。图 1-4 所示是采用直流电动机串入三级电阻逐级切除启动电阻的电路原理图及其机械特性曲线图。

直流电动机开始启动时, 接触器的控制触点 S 闭合, 而控制触点 $S_1、S_2、S_3$ 断开, 电枢电路中接入全部电阻, 阻值为 $R_a + r_{st1} + r_{st2} + r_{st3}$, 启动电流 I_1 和启动转矩 T_1 均达到最大值 (通常为额定值的两倍左右), 此时的机械特性曲线为图 1-4(b) 中的人为机械特性曲线 1。启动后, 直流电动机加速, 电动势 E_a 逐渐增大, 电枢电流和电磁转矩逐渐减小, 工作点沿人为机械特性曲线 1 箭头方向移动。当直流电动机转速上升到 n_1 , 电流降至 I_2 , 转矩降至 T_2 (见



(a) 电路原理图



(b) 机械特性曲线图

图 1-4 直流电动机串入三级电阻启动电路原理图及其机械特性曲线图

图 1-4 中点 b 时, 控制触点 S_3 闭合, 短接(切除)一级电阻 r_{st3} , 电枢电路中的电阻值减小为 $R_a + r_{st1} + r_{st2}$, 对应的人为机械特性曲线为图 1-4(b) 中的人为机械特性曲线 2。切除电阻瞬间, 由于机械惯性转速不能突变, 但电枢电路电流增大、转矩增大, 直流电动机的工作点由点 b 沿水平方向跃变到人为机械特性曲线 2 上的点 c 。如果各级启动电阻选择适当, 可保证点 c 的电流为 I_1 , 转矩为 T_1 , 切除一级启动电阻后, 直流电动机又在最大转矩 T_1 的作用下加速, 工作点沿人为机械特性曲线 2 箭头方向移动。当电流再次降至 I_2 , 转矩降至 T_2 (见图 1-4 中点 d) 时, 直流电动机转速上升至 n_2 , 此时控制触点 S_2 闭合, 短接(切除)二级电阻 r_{st2} , 电枢电路中的电阻值减小为 $R_a + r_{st1}$, 对应的人为机械特性曲线为图 1-4(b) 中的人为机械特性曲线 3, 工作点由点 d 平移到人为机械特性曲线 3 上的点 e , 点 e 的电流及转矩仍为最大值, 直流电动机继续加速, 工作点在人为机械特性曲线 3 上移动。当电流再次降至 I_2 , 转矩降至 T_2 , 转速升至 n_3 (见图 1-4 中点 f) 时, 短接(切除)最后一级电阻 r_{st1} , 直流电动机将过渡到固有机械特性曲线上, 在固有机械特性曲线上加速到点 h , 直流电动机稳定运行, 启动过程结束。

2. 降压启动

降压启动需要专用电源, 使直流电动机在启动过程中, 电枢电源可调。直流电动机启动时, 给电枢输入较低的电源电压, 限制启动电流, 随着直流电动机转速升高, 反电动势逐渐增大, 再逐渐提高电源电压, 使启动电流和启动转矩保持在一定的数值上, 从而保证直流电动机按需要的加速度加速, 又能限制启动电流。

降压启动的专用电源过去多采用直流发电机-电动机机组, 现在多用晶闸管整流电源。降压启动设备投资较大, 但启动平稳, 启动中能量损耗小, 应用较广泛。

1.1.4 直流电动机的制动

本节所介绍的直流电动机的制动是指电气制动。直流电动机电气制动的运行特点是: 直流电动机的转矩 T 与转速 n 方向相反, 此时直流电动机吸收的机械能转换为电能。

直流电动机常用的电气制动方法有能耗制动、反接制动和回馈制动。

1. 能耗制动

直流电动机的能耗制动是将运行中直流电动机的电枢端的直流电源断开, 接入制动电

阻。电源断开后,由于机械惯性,转子仍旋转,切割磁力线,根据左右手定则不难确定,这时转子感应电流与直流电动机磁场相互作用产生了制动转矩,使直流电动机迅速停转。在制动过程中,转子的机械能转换为电能,消耗在电枢电路的电阻上,即能耗制动。直流电动机能耗制动的电路原理图及其机械特性曲线图如图 1-5 所示。

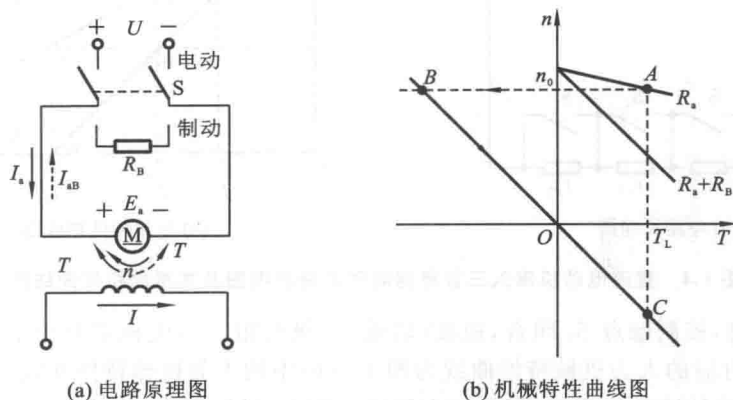


图 1-5 直流电动机能耗制动的电路原理图及其机械特性曲线图

能耗制动时的机械特性是在 $U=0, \Phi=\Phi_N, R=R_a+R_B$ 条件下的人为机械特性。其特点如下。

(1) 人为机械特性曲线通过坐标原点,特性表达式为: $n = -\frac{R_a + R_B}{C_e C_T \Phi_N^2} T$ 。

(2) R_B 在制动过程中耗能,改变 R_B 的阻值可以改变制动效果; R_B 越小,制动转矩越大,制动效果越强。但 R_B 的最小值受制于电枢回路中允许的制动电流值,通常限制最大制动电流不超过 2~2.5 倍的额定电流。

(3) 直流电动机带动负载为反抗性负载时,制动使直流电动机转速降为零,制动过程结束;负载为位能性负载时,制动使直流电动机转速降为零后,直流电动机进入反转,且反向转速逐渐升高,到达稳定运行点(见图 1-5(b)中的点 C)后,稳定而匀速运行。

2. 反接制动

反接制动分为电源反接制动和倒拉反接制动两种方式。

1) 电源反接制动

将运行中的直流电动机电枢电源极性对调,由于机械惯性,直流电动机的转速方向不能立即改变,电动势的方向不变,而电流方向与电源反接前相反,根据左手定则,磁场与电流相互作用而产生的电磁转矩方向与转速方向相反,直流电动机进入电源反接制动状态。直流电动机电源反接制动的电路原理图及其机械特性曲线图如图 1-6 所示。

直流电动机电源反接制动时的机械特性曲线是在 $U=U_N, \Phi=\Phi_N, R=R_a+R_B$ 条件下的人为机械特性曲线。其特点如下。

(1) 直流电动机电源反接制动时的机械特性表达式为 $n = -\frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a + R_B}{C_e C_T \Phi_N^2} T$, 转速为零时,转矩不为零,且人为机械特性曲线通过 $(0, -n_0)$ 点。这表明:电源反接制动使电动机的转速降为零后,若不断开反接电源,电动机会进入反转状态。

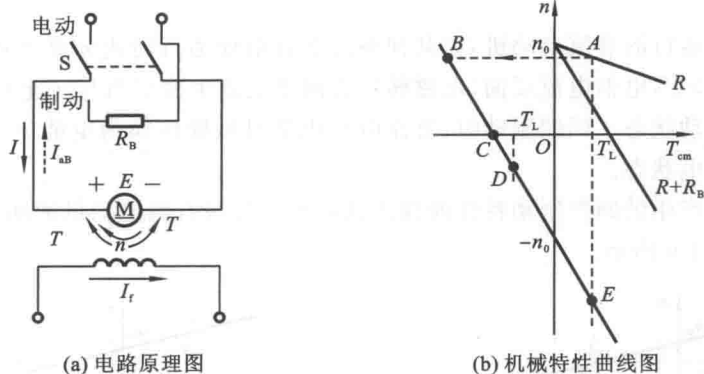


图 1-6 直流电动机电源反接制动的电路原理图及其机械特性曲线图

(2) 直流电动机电源反接制动时, 电枢回路内电压 U 与电动势 E_a 串联, 共同产生很大的反接电流, 电枢回路串接电阻 R_B 起到限流作用。改变 R_B 的阻值可以改变制动效果: R_B 越小, 制动转矩越大, 制动效果越强; 反之亦然。但 R_B 的最小值也受制于电枢回路中允许的制动电流值, 通常限制最大制动电流不超过 $2 \sim 2.5$ 倍的额定电流。

(3) 若直流电动机带动负载为反抗性负载, 制动使直流电动机转速降为零后反接制动过程结束, 直流电动机进入反转状态, 反向转速升高, 到达稳定运行点(见图 1-6 中的点 D)后, 稳定而匀速运行; 负载为位能性负载时, 制动使直流电动机转速降为零后, 直流电动机进入反转状态, 反向转速逐渐升高, 且位能性负载使直流电动机的转速超过反向理想空载转速, 直流电动机进入回馈制动状态, 最后到达稳定运行点(见图 1-6 中的点 E)后, 稳定而匀速运行。

2) 倒拉反接制动

倒拉反接制动只适用于位能性恒转矩负载。

如果在带动位能性负载的直流电动机电枢回路中串入一个较大的电阻 R_B , 将得到一条斜率较大的人为机械特性曲线。串入大电阻后, 直流电动机正转减速, 正转转速降为零后, 位能性负载拉动直流电动机进入反转, 由于励磁方向和电流方向未变, 直流电动机的电磁转矩方向不变, 进入反转后, 直流电动机进入倒拉制动状态。直流电动机倒拉反接制动的电路原理图及其机械特性曲线图如图 1-7 所示。

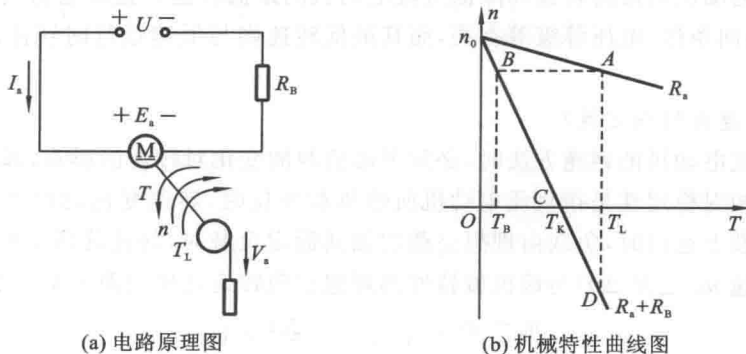


图 1-7 直流电动机倒拉反接制动的电路原理图及其机械特性曲线图

3. 回馈制动

电动状态下运行的直流电动机,在某种条件下会出现运行转速 n 高于理想空载转速 n_0 的情况,此时 $E_a > U$,电枢电流反向,电磁转矩方向随之发生改变而与转速方向相反,直流电动机进入回馈制动状态。回馈制动时,直流电动机把机械能转换为电能 E_a 回馈给电网,直流电动机处于发电状态。

降压调速时产生的回馈制动特性曲线图及电车上坡时直流电动机的回馈制动特性曲线图如图 1-8 和图 1-9 所示。

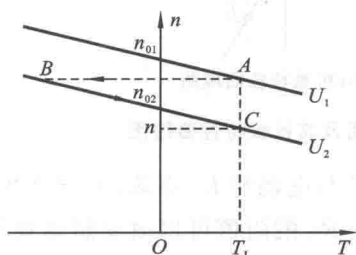


图 1-8 降压调速时产生的回馈制动特性曲线图

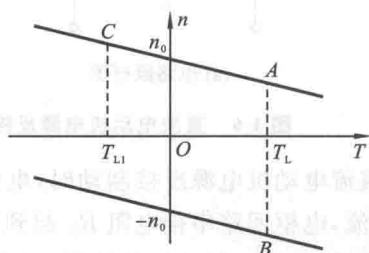


图 1-9 电车上坡时直流电动机的回馈制动特性曲线图

1.1.5 直流电动机的调速方法及特性

1. 直流电动机的调速性能指标

直流电动机的调速是根据生产工艺要求来改变直流电动机转速的。为了评价各种调速方法的性能,通过一些技术经济指标来对调速方法的优缺点进行评价。常用以下四个方面的指标评价调速性能。

1) 调速范围

调速范围是指直流电动机在额定负载下可能运行的最高速度和最低速度之比,通常用 D 来表示,即

$$D = n_{\max} / n_{\min} \quad (1-2)$$

不同的生产机械对直流电动机的调速范围有不同的要求。要扩大调速范围,必须尽可能地提高直流电动机的最高转速和降低直流电动机的最低转速。直流电动机的最高转速与其机械强度、换向条件、电压等级等有关,而其最低转速则与低速运行时转速的相对稳定性有关。

2) 静差率(速度的稳定性)

在评价直流电动机的调速方法时,必须考虑负载的变化对转速的影响,即速度的相对稳定性。速度的相对稳定性是指直流电动机所带负载变化时,转速变化的程度。直流电动机在某一机械特性上运行时,负载由理想空载增加到额定负载时,转速降落(理想空载转速 n_0 与额定负载转速 n_N 之差 Δn)与该机械特性的理想空载转速之比用静差率 δ 来表示。

$$\delta = \frac{n_0 - n_N}{n_0} \times 100\% = \frac{\Delta n}{n_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

静差率越小,转速变化越小,直流电动机的相对稳定性也就越好。静差率越大,转速变



化越大,直流电动机的相对稳定性也就越差。如果负载变化时,直流电动机的转速也会有很大变化,往往不能满足生产工艺要求,因此静差率的要求常会限制直流电动机的调速范围,即系统可能达到的最低转速 $n_{\min}$ 取决于低速特性的静差率。调速范围和静差率这两项指标不能彼此孤立,必须同时一起使用才有意义。

静差率与直流电动机的机械特性曲线有关,直流电动机的机械特性越硬(特性曲线越平直),负载变化时的转速变化越小,静差率越小,调速稳定性就越好。反之,直流电动机的机械特性越软(特性曲线越陡峭),负载变化时的转速变化越大,静差率越大,调速稳定性就越差。

3) 调速的平滑性

调速的平滑性用相邻两级转速的线速度之比来衡量,相邻两级转速的线速度之比称为平滑系数,用 φ 来表示。

$$\varphi = \frac{n_i}{n_{i-1}} \quad (1-4)$$

调速的级数越多,则认为调速越平滑, φ 等于 1,称为无级调速。调速不连续,级数有限时称为有级调速。

4) 调速的经济性

调速的经济性主要用调速时的设备投资、电力消耗、维护即运行费用来评价。

2. 直流电动机的调速方法及特性

在负载转矩不变的情况下,改变电枢电压、磁通、电枢电阻可改变直流电动机的转速。直流电动机有三种基本的调速方法:调压调速法、调磁调速法和调阻调速法。

1) 调节直流电动机的电枢电压 U (调压调速法)

当直流电动机拖动负载运行时,保持直流电动机的励磁磁通和电枢回路的电阻不变,调节直流电动机的电枢电压 U ,直流电动机的转速可随之发生改变。降低电枢电压调速的机械特性曲线图如图 1-10 所示。

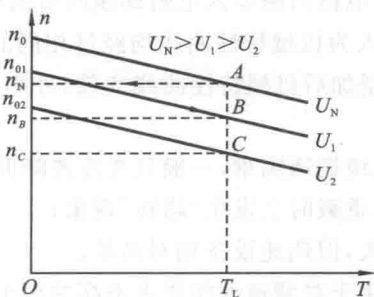


图 1-10 降低电枢电压调速的机械特性曲线图

这种调速方法具有以下特点:

(1) 改变电枢电压 U 的人为机械特性,使其与固有机特性平行,即机械特性硬度不变,调速的稳定度较高;

(2) 当电枢电压连续变化时,可连续平滑调速,即可实现无级调速;

(3) 调速运行范围较大,且无论轻载还是重载,调速范围相同,但电枢电压不能超过直流电动机的额定电压,即调节的电压均低于额定电压,调节的转速均低于额定转速;



(4) 调速稳态后, 保持电流不变, 且磁通未变化, 故电磁转矩不变, 属恒转矩调速;

(5) 调速时的电能损耗小, 可利用调速的降压设备解决直流电动机启动问题, 不需要其他设备。

由于这些特点, 调压调速法在大型设备或精密设备上得到广泛的应用。直流电动机过去多采用直流发电机组、电机放大机组、整流器等来调节电压, 目前较多采用可调直流电源、晶闸管整流装置和晶体管脉宽调制放大器等供电系统。

2) 调节串入电枢回路的外加电阻 R_{ad} (调阻调速法)

当直流电动机拖动负载运行时, 保持直流电动机的励磁磁通和电枢电压不变, 调节电枢回路的电阻, 直流电动机的转速可随之发生改变。如图 1-11 所示, 在电枢回路中串入不同的外加电阻 R_1 、 R_2 , 控制 S_1 、 S_2 依次断开, 依次将 R_1 、 R_2 接入电枢电路, 从而使电枢电阻值依次变为 $R_a + R_1$ 、 $R_a + R_1 + R_2$, 就可得到不同的转速 n_B 、 n_C 。

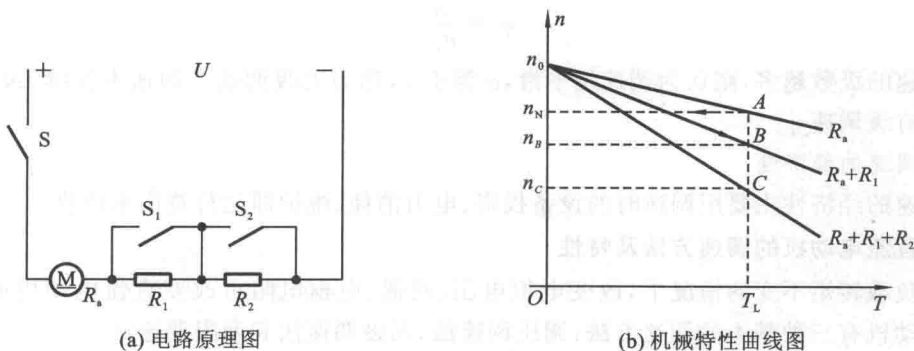


图 1-11 电枢回路串入电阻调速的电路原理图及其机械特性曲线图

这种调速方法具有以下特点:

(1) 外串电阻为 0 时, 直流电动机运行于固有机械特性曲线的“基速”上, 随着串入的外加电阻阻值的增大, 转速减小, 电枢回路串入电阻调速所得的转速永远不会超过“基速”;

(2) 调阻调速所得的各条人为机械特性曲线均经过相同的理想空载点 n_0 , 阻值不同, 机械特性曲线的斜率不同, 阻值增加后机械特性曲线变软, 外串电阻阻值越大, 机械特性曲线越软, 运行稳定性越差;

(3) 调阻调速平滑性差, 无级调速困难, 一般只在需要降低转速且采用分级调速时使用;

(4) 轻载时调速范围不大, 重载时会发生“堵转”现象;

(5) 调速电阻上消耗电能大, 但调速设备相对简单。

由此, 这种调速方法只是用于对调速性能要求不高的中小直流电动机, 大容量直流电动机不宜采用。

3) 调节直流电动机的主磁通 Φ (调磁调速法)

当直流电动机拖动负载运行时, 保持直流电动机的电枢电压和电枢回路的电阻不变, 调节励磁磁通, 直流电动机的转速可随之发生改变。调节直流电动机的主磁通调速的机械特性曲线图如图 1-12 所示。

这种调速方法具有以下特点。

(1) 由于直流电动机设计时一般总使磁通接近在饱和区域, 不易再增加主磁通 Φ , 所以

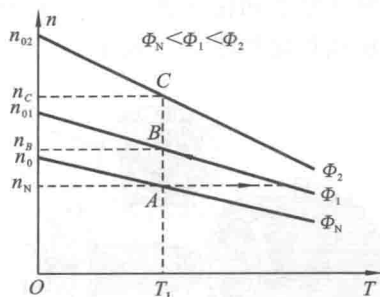


图 1-12 调节直流电动机的主磁通调速的机械特性曲线图

调磁调速一般只能进行弱磁调速,而弱磁调节后的转速将超过额定转速。

(2)由于直流电动机的最高转速不得超过额定转速的 1.2~1.5 倍,所以弱磁调速的调速范围不大。调磁调速通常与调压调速配合使用(n_N 以下用调压的方法, n_N 以上用调磁通的方法),这样可得到很大的调速范围,且调速运行损耗小、效率高,并能获得较好的调速方式与负载的配合关系。

(3)能在 n_N 以上进行无级调速。

(4)调速时的人为机械特性变软,且受直流电动机换向条件的限制。

(5)调速时保持电枢电压 U 和电枢电流 I_a ,即功率 $P=UI_a$ 不变,属恒功率调速。

(6)由于弱磁后转速增长较快,过分弱磁可能造成“飞车”事故,因此使用中必须有弱磁保护安全措施。

在直流电动机的调速方法中,调压调速的调速性能相对较好,目前对调速性能要求较高的电力拖动系统,大多以闭环控制的调压调速方法为主。

3. 调速方式与负载类型的配合

调速方式根据负载类型分为恒转矩调速和恒功率调速两种,而负载的类型较多,为了使直流电动机带动负载运行合理,应根据负载的性质,选用相应的调速方式,使直流电动机的机械特性与生产机械的负载特性尽量相配合。

1.2 异步电动机基础

交流电动机按品种可分为同步电动机和异步电动机两大类,本书只介绍异步电动机。

异步电动机具有结构简单、制造方便、价格低廉、坚固耐用、运行可靠等优点,在机床即设备拖动装置中应用广泛。

1.2.1 异步电动机的基本结构及工作原理

1. 异步电动机的基本结构

异步电动机由定子和转子两大部分构成。定子和转子之间有一定气隙。定子由定子铁芯、定子绕组和机座组成,是异步电动机中的静止不动部分。定子绕组和定子铁芯的主要作用是产生异步电动机工作所需的磁场及构成磁路。转子由转子铁芯、转子绕组和转轴组成,