

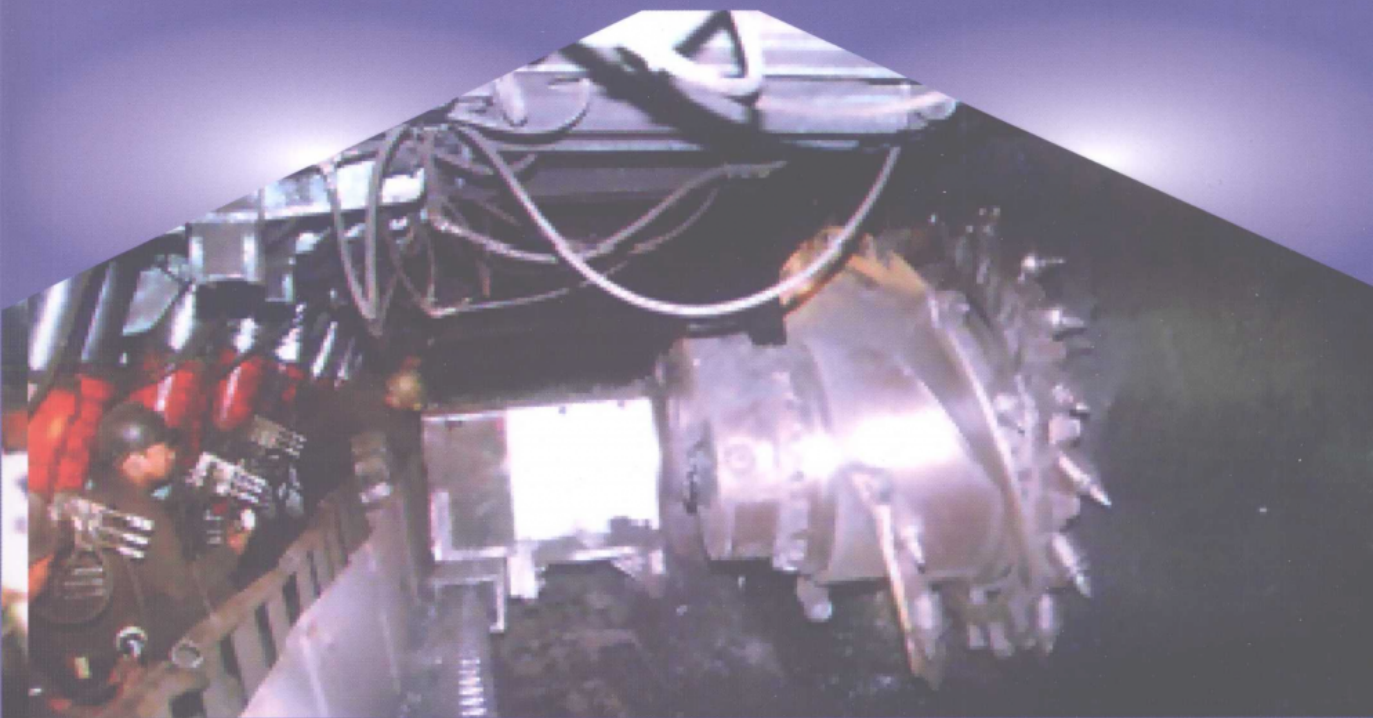


高职高专“十一五”规划教材
综合机械化采煤系列

综采

电气控制

刘蕴哲 主编
穆连生 主审



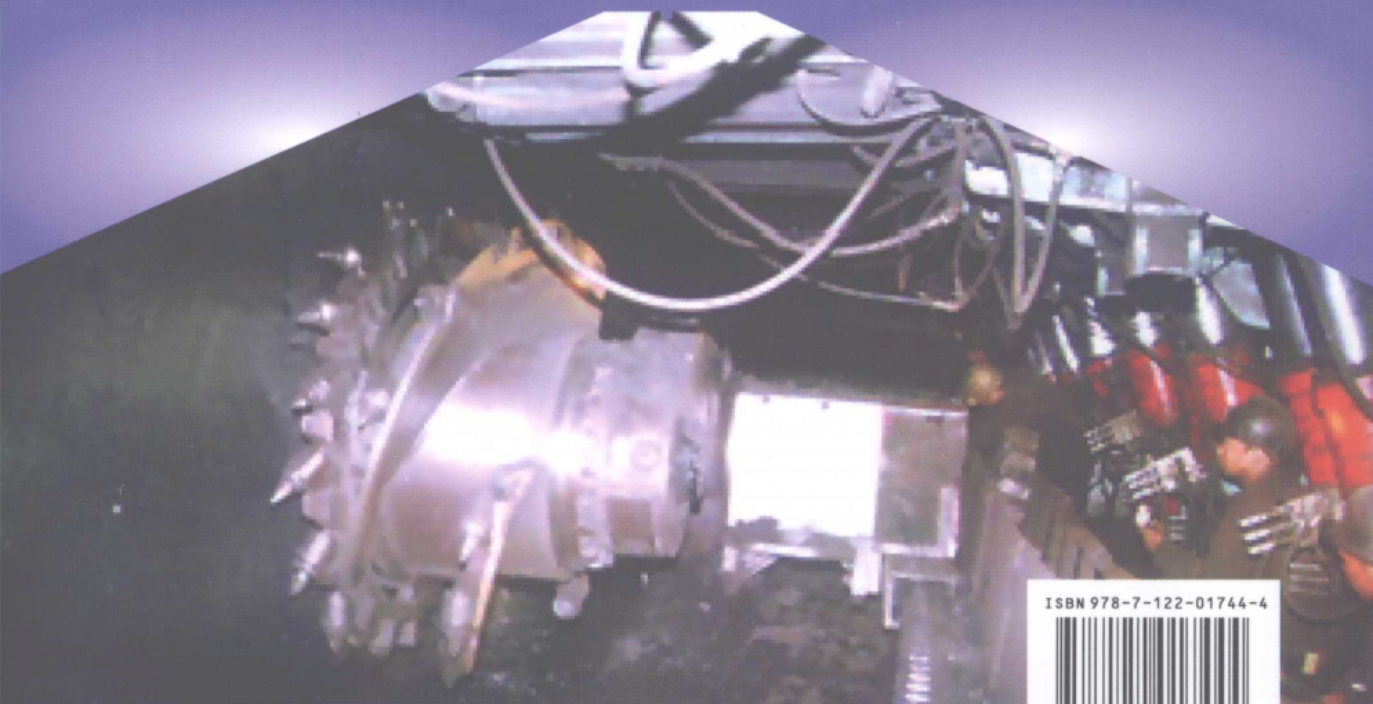
化学工业出版社

综合机械化采煤系列教材



高职高专“十一五”规划教材
综合机械化采煤系列

矿山工程力学
矿井通风与安全
煤矿实用地质
矿井测量与矿图
煤矿机械化开采
煤矿综合机械化采掘设备
矿井供电技术
综采电气控制
机械化采煤矿山压力测控技术
综采工作面生产组织与管理



ISBN 978-7-122-01744-4



9 787122 017444 >

销售分类建议：煤矿开采

定价：28.00元

高职高专“十一五”规划教材
综合机械化采煤系列

综采电气控制

刘蕴哲 主编
穆连生 主审



化学工业出版社

·北京·

本书主要包括煤矿采掘运机械的电气控制方法与技术、启动控制设备、采煤机电气控制系统、掘进机电气控制系统、连续采煤机配套设备电控系统、胶带输送机电控系统。

本书可作为高等职业院校采矿、电气、机电类及相近专业综采电气控制课程的教材，也可作为高校教师和现场工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

综采电气控制/刘蕴哲主编. —北京: 化学工业出版社, 2008.1

高职高专“十一五”规划教材. 综合机械化采煤系列
ISBN 978-7-122-01744-4

I. 综… II. 刘… III. 采煤综合机组-电气控制-高等学校: 技术学院-教材 IV. TD63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 200587 号

责任编辑: 张双进
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 鲍晓娟
装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18¼ 插页 4 字数 483 千字 2008 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

进入 21 世纪以来, 中国引进国外先进地下采煤作业的现代化设备越来越多, 微机控制的应用已经很普遍。中国消化、吸收国外先进技术, 设计制造出现代化的综合机械化采煤设备, 其技术性能也日趋完善, 但到目前为止, 有关综合机械采煤设备电气控制的高职高专教材基本上是空白, 为满足煤炭生产发展的需要和有关高职高专学校及现场工程技术人员的急需而编写此书。

本书题材来源于目前中国较先进矿井的实际使用设备。在内容选取上兼顾中国煤矿生产的实际, 反映目前中国引进的先进综合连续采煤设备和部分国产设备现状, 全面、系统地介绍了工作原理, 并考虑到高职高专院校培养目标, 增加了部分操作和维护知识。

全书共六章, 第一章、第二章的第一、二、三节由山西大同大学工学院张宝红副教授编写, 第二章的第四节、第三章由山西大同大学工学院薛尚红副教授编写, 第四章、第五章由山西大同大学刘蕴哲副教授编写, 并负责全书统稿, 第六章由北岳职业技术学院栗红梅编写, 全书由山西大同大学工学院穆连生副教授担任主审。

本书为山西大同大学资助项目, 在编写过程中得到山西大同大学、神东煤炭公司、大同煤矿集团公司的大力支持和帮助, 在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 书中难免存在不足之处, 恳请读者批评指正。

编者

2008 年 1 月

目 录

第一章 煤矿采掘运机械的电气控制方法与技术	1
第一节 概述	1
第二节 直流电动机的控制	1
一、概述	1
二、他励电动机的控制	2
三、串励电动机的控制	6
第三节 交流感应电动机的控制	10
一、控制方法概述	10
二、感应电动机变频调速	11
三、感应电动机变极调速原理	15
第四节 电力拖动自动控制	18
一、自动控制概述	18
二、电力拖动自动控制的特点	21
三、电力拖动自动控制系统	23
第五节 可编程序控制器应用技术简介	26
一、概述	26
二、可编程序控制器简介	27
三、PLC 控制系统	31
第二章 启动控制设备	35
第一节 概述	35
一、具有先进的控制系统	35
二、具有可靠的保护系统	35
三、具有完善的试验监测系统	39
四、具有直观的故障查寻系统	39
第二节 LC33 负荷控制中心的控制系统	39
一、控制系统概述	39
二、LC33 负荷中心控制系统	41
三、LC33 控制原理	47
第三节 LC33 负荷控制中心的试验监测系统	55
一、LC33 的控制器件	55
二、测试原理	56
三、送电检查	57
四、驱动器的测试	58
五、外部控制电路的检查	61
六、辅助电源和本安电源的检查	62
七、监测电路	62

第四节 其他启动器简介	64
一、TD33 型电动启动器	64
二、MMS 型电动机启动器	68
三、MMS/DTU 型带变压器的启动器	74
第三章 采煤机电气控制系统	77
第一节 概述	77
一、电牵引采煤机的特点	77
二、电牵引采煤机的基本电气结构	77
第二节 6LS5 型采煤机	78
一、概述	78
二、6LS5 型采煤机电气系统	80
三、采煤机启动控制原理	90
四、6LS5 型采煤机电气系统的保护	95
五、HOST 单元及相关电路	100
六、6LS5 型采煤机的图形显示	110
七、6LS5 型采煤机的操作	111
第三节 其他采煤机电控系统简介	114
一、MG300/720-AWD 采煤机电控系统	114
二、AM500 采煤机电控系统	125
第四章 掘进机电气控制系统	133
第一节 概述	133
一、掘进机	133
二、连续采煤机	135
第二节 AM-50 型掘进机电控系统	138
一、概述	138
二、电气控制系统及元件	138
三、电气保护装置及安全特点	138
四、操作过程	143
五、记时装置	145
六、保护装置	146
七、制动器	148
第三节 12CM15 型连采机电控系统	149
一、概述	149
二、结构特点	149
三、电气控制	151
四、12CM15 型连续采煤机	152
五、电气控制系统	157
六、连续采煤机电气控制原理	160
七、采煤机电气系统保护	171
八、瓦斯监测器	176
九、电气维修及故障处理	176
十、JNA 负向转换器及操作	181
第五章 连续采煤机后配套设备电控系统	184

第一节 概述	184
一、锚杆机	184
二、运输设备	184
第二节 TD ₂ -43 型锚杆机电控系统	185
一、交流锚杆钻机电气系统之一	185
二、交流锚杆钻机的电气系统之二	186
三、交流锚杆钻机电气系统之三	186
第三节 运煤车电控系统	188
一、10SC32 型拖缆式运煤车	188
二、848 型蓄电池运煤车	202
第四节 给料破碎机电气系统	208
一、1030 型给料破碎机电气系统组成	208
二、1030 型给料破碎机电气控制系统工作原理	209
第五节 铲车电控系统	214
一、概述	214
二、488 型铲车电气系统	215
三、488 型铲车电气系统的检查与调试	223
四、铲车的使用操作与维护调整	229
第六章 胶带输送机电控系统	238
第一节 CST 可控驱动装置	238
一、CST 传动装置构成及基本原理	238
二、CST 传动装置的特点	239
三、CST 传动装置控制系统	239
四、系统报警	241
第二节 CST 工作原理	242
一、硬件装置及其技术特征	242
二、人机操作界面	242
第三节 CST 胶带输送机电控系统	246
一、系统安装接线基本要求	246
二、皮带编码器	246
三、输出轴速度传感器	247
四、润滑及压力控制系统	248
五、冷却系统安装	250
六、CST 控制箱检查与测试	250
第四节 CST 控制系统故障处理	252
一、概述	252
二、报警及故障状态屏	252
三、SLC5/04 运行与故障诊断	255
第五节 CST 胶带输送机电控系统	256
一、结构及技术特征	256
二、电控系统图简介	256
三、系统工作原理说明	266
第六节 KJ50 型 PROMOS 系统	267

一、概述.....	267
二、PROMOS 系统配置产品	269
三、系统的使用.....	276
第七节 胶带输送机监测保护装置.....	278
一、速度传感器.....	278
二、烟雾传感器.....	278
三、纵撕传感器.....	279
四、堆煤开关.....	279
五、跑偏开关.....	279
六、温度传感器.....	280
参考文献.....	281

第一章 煤矿采掘运机械的电气控制方法与技术

第一节 概 述

现代矿井采掘运机械的种类很多，通常各类机械都是机械部分和电气部分的有机结合体。机械部分是完成特定任务的执行机构，电气部分则是机械部分的驱动和控制机构。由于电能本身输送和分配方便、经济，同时便于实现自动控制、运行状态监测、故障诊断显示和各类保护，所以采用合适的电气控制方法与技术，可以充分发挥采掘运机械的效能。

采掘运机械的电气控制方法与技术，大体上可以分成三类：第一类是对采掘运机械提供动力的拖动电动机的基本控制；第二类是为了保证采掘运机械顺利完成特定任务的电力拖动自动控制；第三类是为实施自动控制、状态监测、故障诊断和各类保护所采用的微型计算机监控技术。

采掘运机械的拖动电动机，一般为直流电动机和交流电动机。常用的直流电动机有他励电动机和串励电动机，一般采用晶闸管整流电路对这两种电动机进行供电、执行控制和速度调节。常用的交流电动机是笼型异步电动机，对于不需要调速的较小功率异步电动机，常用接触器直接控制；对于较大功率异步电动机，则使用专用启动设备以保证顺利启动，并减小电气和机械冲击；对于双速运行或启动的异步电动机，常采用改变定子磁极对数的方法满足运行或启动要求；对于需要无级调速的异步电动机，常采用变频电路完成调速的任务。

采掘运机械大多由电力拖动来完成其特定的动作和任务，所以采掘运机械的自动控制主要体现在电力拖动的自动控制上。采掘运机械又对电力拖动自动控制提出了技术要求，特别是综采工作面的采掘运机械，要求具有很高的自动化程度，并对电力拖动自动控制提出了较高的指标，如较小的稳态误差和静差率、较大的调速范围、较快的响应速度、较短的调节时间以及较强的抗干扰性能等，只有在结构上设计合理，参数上配置准确的自动控制系统，才能满足这些指标要求。

采掘运机械的控制是比较复杂的，同时考虑到煤矿生产的特殊性，其安全性、可靠性要求也是十分高的，因此大多采用微型计算机为核心的可编程序控制器（PLC）实施控制、监测、逻辑处理和保护。PLC属于工业控制计算机，其结构设计紧凑并便于扩展；可靠性高，抗干扰性能强；具有与他机通信的能力，可以单独使用，也可以组成集散控制系统；并具有一定的输出功率，可直接驱动一些控制器件。PLC的编程语言易于学习和应用，编程方法灵活多样，可以用语句形式或用梯形图形式编排程序。

本章主要介绍现代矿井采掘运机械涉及的直流电动机和交流电动机的基本控制方法、电力拖动的自动控制和可编程序控制器应用的基本技术。

第二节 直流电动机的控制

一、概述

直流电动机有两个最基本的绕组，一个是电枢绕组，另一个是励磁绕组。这两个绕组的

连接方式确定了直流电动机的励磁方式。当这两个绕组分别接到不同的直流电源上时，称为他励，这时电动机就称为他励电动机；当把这两个绕组串联后再接到一个直流电源上时，称为串励，这时电动机就称为串励电动机。其他的励磁方式还有并励和复励等方式，常用于特殊用途的直流电动机。本节只介绍他励电动机和串励电动机的基本工作特性，以及基本调速原理和控制方法。

二、他励电动机的控制

他励电动机的电枢绕组与励磁绕组是分别供电的，因此可以对两个绕组分别进行控制。常用的他励电动机往往保持励磁绕组的电流恒定不变，调节电枢绕组的参数对他励电动机进行控制。这种控制方式可以获得优良的控制特性。

1. 直流他励电动机的机械特性

他励电动机电路原理如图 1-1 所示。当给他励电动机的励磁绕组和电枢绕组分别加上一定的直流电压时，电动机产生电磁转矩 T ，这一转矩克服负载转矩使机械运转。当电动机的电磁转矩与负载转矩达到平衡时，电动机就在一定的转速 n 下稳定运行。电动机的电磁转矩 T 和转速 n 是分析电力拖动系统的重要参数，两者之间的关系称为机械特性，常表示为 $n=f(T)$ 。在稳定运行状态下，直流电动机的特性可由下列三个基本方程描述。

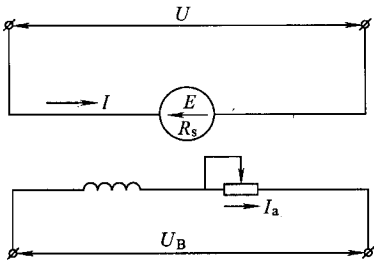


图 1-1 直流他励电动机电路原理图

转矩方程 $T=C_m\Phi I$ (1-1)

感应电势方程 $E=C_e\Phi$ (1-2)

电枢电路方程 $U=E+IR$ (1-3)

- 式中 U ——电枢的端电压；
- E ——电枢绕组的感应电势；
- Φ ——每极磁通；
- I ——通过电枢的电流；
- R ——电枢回路总电阻，包括电枢电阻 R_s 和附加电阻 R_f ，即 $R=R_s+R_f$ ；
- C_e 、 C_m ——电动机电势常数和转矩常数，分别为

$$C_e = \frac{pN}{60a}$$

$$C_m = \frac{pN}{2\pi a}$$

- 式中 p ——电动机的磁极对数；
- N ——电枢绕组有效导体的数目；
- a ——电枢绕组并联支路对数。

将式 (1-1) 和式 (1-2) 代入式 (1-3) 中并表示为 $n=f(T)$ 的形式，就得到了机械特性方程

$$n = \frac{U}{C_e\Phi} - \frac{R}{C_eC_m\Phi^2}T$$
 (1-4)

由于电动机的电磁转矩 T 不易测量，有时也用电枢电流代替电磁转矩来表示机械特性方程

$$n = \frac{U}{C_e\Phi} - \frac{R}{C_e\Phi}I$$
 (1-5)

当参数 U 、 R 、 Φ 均固定不变时，转矩 T 或电流 I 与转速 n 呈线性关系，因此机械特性曲线是一条直线。

在机械特性方程中，令

$$\frac{U}{C_e \Phi} = n_0$$

$$\frac{R}{C_e C_m \Phi^2} T = \frac{R}{C_e \Phi} I = \Delta n$$

可得机械特性的转速表达式为

$$n = n_0 - \Delta n \quad (1-6)$$

n_0 称为理想空载转速。电动机一定时， n_0 仅取决于端电压 U 和磁通 Φ 的大小，即电动机的转矩或电流为零时其转速为 n_0 ，此时电枢感应电势 E 等于外加电压 U 。 Δn 称为转速降落，它与负载电流 I （或转矩 T ）、电阻 R 和磁通 Φ 的大小有关。从上述分析可知，对于不同的电源电压 U 、磁通 Φ 或电枢回路总电阻 R ，机械特性对应不同的直线。当端电压 U 、磁通 Φ 为额定值且电枢回路没有附加电阻时的机械特性，称为固有机械特性，简称固有特性或称自然特性。凡不具备上述条件的机械特性都称为人为机械特性，简称人为特性。电动机的控制就是使电动机运行在需要的人为特性上，以满足生产机械的要求。

(1) 固有特性 电动机在额定条件下运行时，其机械特性为固有特性，由式 (1-4) 可得固有特性方程

$$n = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_s}{C_e C_m \Phi_N^2} T \quad (1-7)$$

式中 U_N ——额定电压；
 Φ_N ——额定他励磁通；
 R_s ——电枢电阻。

固有特性的理想空载转速为 $n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N}$ ，转速降落 $\Delta n = \frac{R_s}{C_e C_m \Phi_N^2} T$ 。固有特性曲线是与纵轴（转速轴）交于 n_0 点的一条倾斜直线，转速随着转矩的增加而下降。由于电枢电阻 R_s 的阻值很小，固有特性属于硬特性，其特性曲线如图 1-2 所示。

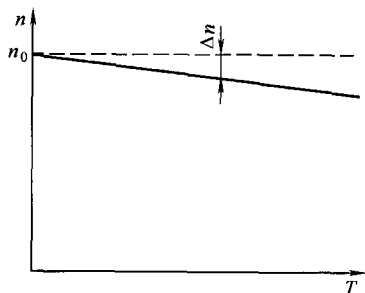


图 1-2 他励电动机固有特性

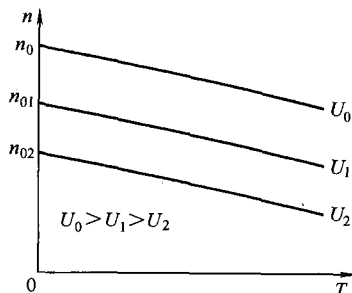


图 1-3 他励电动机改变端电压的人为特性

(2) 人为特性 分别改变电动机的端电压 U 、电枢回路电阻 R 和励磁磁通 Φ 可得到不同的人为特性。这里仅介绍采掘运机械电力拖动中常用的改变电枢端电压的人为特性，如图 1-3 所示。

保持电动机磁通为额定值，电枢回路中不串附加电阻，改变供电电压就能得到改变电枢端电压的人为特性，其方程为

$$n = \frac{U}{C_e \Phi_N} - \frac{R_s}{C_e C_m \Phi_N^2} T \quad (1-8)$$

由式 (1-8) 可知, 转速降落与固有特性时相同, 而空载转速与电枢端电压成正比

$$n_0 = \frac{U}{C_e \Phi_N}$$

由于转速降落 Δn 不变, 所以特性硬度不变, 只是 n_0 随着端电压 U 的下降而减小。此时的人为特性, 是位于固有特性下方并与之平行的一族直线。一般端电压是连续改变的, 因此机械特性也是连续紧密的, 而且其硬度不变。所以, 改变电枢端电压比改变电枢电阻的方法在技术上更为先进, 具有更好的控制性能。而电枢回路串电阻调速能耗较大, 一般不采用。

2. 他励电动机的制动运行状态

直流电动机产生的转矩拖动负载运行时称为电动状态, 其转矩阻止负载运行时称为制动状态。直流电动机的转向是由磁通方向和电枢电流的方向共同决定的。他励电动机的磁通方向通常是固定不变的, 因此电枢电流的方向就决定了电动机的转向。直流他励电动机有发电反馈制动、能耗制动和反接制动三种制动运行状态。

发电回馈制动时的机械特性是电动运行时的延续, 它运行在 $n > n_0$ 、 $T < 0$ 的第二象限。

当电动机电枢电压恒定不变时, 发电回馈制动只能用于限速制动。当电枢电压可变时, 发电反馈制动不仅能用于限速, 而且也能用于减速制动。发电回馈制动的优点是不用改变电动机的接线就能过渡到制动状态, 并能将机械能转换成电能回馈电源, 具有较好的经济效果。

保持恒定的励磁磁通, 把电动机电枢与电源断开并串入附加电阻形成闭合回路, 即可实现能耗制动。机械特性曲线是通过坐标原点, 位于二、四象限的直线, 改变附加电阻值就改变了制动特性的斜率; 附加电阻越大, 特性下降的斜率就越大。

在能耗制动时, 一般电枢回路应接入适当的附加电阻, 以防电流过大。

电动机在电动状态下, 电枢外加电压 U 和电枢绕组反电势 E 的极性是相反的, 当电动机的实际转向相反时, 反电势的极性将反向, 并与外加电压极性相同; 还有一种情况, 在电动机电动运行时, 突然将外加电压的极性反向, 由于电动机的转向没有改变, 此时反电势与外加电压极性也相同。上述两种情况下电动机都产生制动转矩, 由于反电势和外加电压的极性与电动时相反, 故称反接制动。反接制动又可分为转速反向和电枢反接两种运行状态。转速反向的反接制动常用于下放重物的限速制动; 电枢反接的反接制动常用于快速停车。

3. 晶闸管变流器-直流他励电动机调速系统

晶闸管变流器是晶闸管整流器和逆变器的统称。在他励电动机调速系统 (可逆调速系统) 中往往不仅要使用整流器, 还要使用逆变器以达到调速控制的目的。常用的调速系统又可分为不可逆调速系统和可逆调速系统两类。

(1) 晶闸管不可逆调速系统 电动机单向运行的调速系统, 称为不可逆调速系统。这种调速系统常采用改变电枢回路电阻或改变电枢端电压的方法进行调速。这里主要介绍改变电枢端电压的调速方法。目前广泛采用晶闸管电路来改变电枢端电压。用一组晶闸管整流电路为他励电动机的电枢供电, 并使励磁电流保持恒定, 就组成了晶闸管不可逆调速系统, 其原理框图如图 1-4 所示。

图 1-4 中的电位器发出速度控制电压 U_k , U_k 控制触发电路的触发脉冲控制角 α 。 U_k 增大时, α 角减小, 整流电路输出电压 U_{d0} 增大, 反之 U_{d0} 减小。即控制电压 U_k 与整流输出电压 U_{d0} 成正比关系, 用 K_s 作为比例系数, 可得

$$U_{do} = K_s U_k \quad (1-9)$$

如果三相桥式整流电路输入交流电压为 U_2 ，则输出直流电压平均值为

$$U_{do} = 2.34 U_2 \cos \alpha \quad (1-10)$$

那么，晶闸管整流器供电的他励电动机的机械特性方程为

$$n = \frac{U_{do}}{C_e \Phi_N} - \frac{R_e}{C_e C_m \Phi_N^2} T = \frac{2.34 U_2 \cos \alpha}{C_e \Phi_N} - \frac{R_e}{C_e C_m \Phi_N^2} T \quad (1-11)$$

式中， R_e 为电枢回路总电阻，包括电枢绕组电阻、晶闸管电路等效电阻以及电源变压器等效电阻。机械特性曲线如图 1-5 所示。图中虚线部分表示电流断续的情况，此时机械特性不是直线。

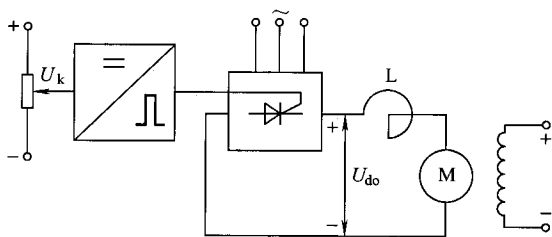


图 1-4 晶闸管不可逆调速系统原理图

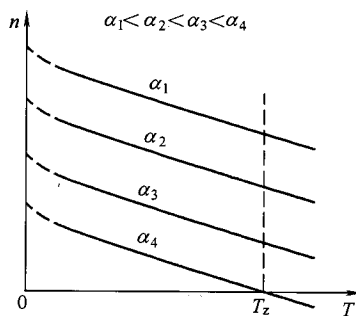


图 1-5 不同 α 角时的机械特性曲线

由于控制角 α 可以连续变化，因此，图 1-5 的机械特性曲线是一条挨着一条的。当电动机从零速开始启动时负载转矩为 T_z ，对应最大的控制角 α_4 ，其后，不断加大控制电压 U_k ， α 角随之不断减小，电动机的转速将沿着负载转矩 T_z 垂线上升，直到达到给定速度为止。此时电动机就运行在相应机械特性与 T_z 的交点处。如果生产机械要求降低速度，可以减小 U_k ， α 角增大，电动机转速沿着负载转矩 T_z 垂线下降。这种在某一恒定转矩下进行调速的系统，称为恒转矩调速系统，本节介绍的晶闸管整流器-他励电动机调速系统就属于此类。

(2) 晶闸管可逆调速系统 当生产机械需要正反转时，就需要拖动电动机能够正反转，也就要求供电电源的极性能够改变。用晶闸管电路实现电源极性的改变而进行调速的系统，称为晶闸管可逆调速系统。这种系统可分为两大类，一类为电枢可逆系统，另一类为励磁可逆系统。电枢可逆系统的正反向转变过程较快，但需要较大容量的晶闸管；励磁可逆系统的晶闸管容量小，但控制较复杂，且正反向转变过程较慢。这里仅介绍电枢可逆调速系统。

电枢可逆调速系统的原理如图 1-6 所示。

图 1-6 中 ZKZ 表示电动机正转时供电的晶闸管整流器，简称正组整流器；FKZ 表示电动机反转时供电的晶闸管整流器，简称反组整流器。这种可逆系统的他励电动机，励磁绕组中通入的励磁电流大小和方向保持恒定。当电动机需要正转时，正组整流器 ZKZ 投入工作，反组整流器 FKZ 停止工作；当电动机需要反转时，反组整流器 FKZ 投入工作，正

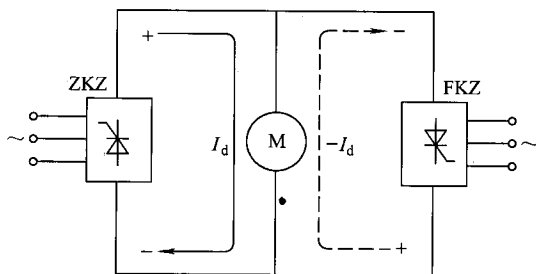


图 1-6 两组晶闸管装置反并联可逆线路

组整流器 ZKZ 投入工作，反组整流器 FKZ 投入工作，正

组整流器 ZKZ 停止工作，这样通过改变电枢电压极性，就实现了电动机的可逆运行。图 1-7 给出了几种三相桥式可逆系统常用的接线方式。

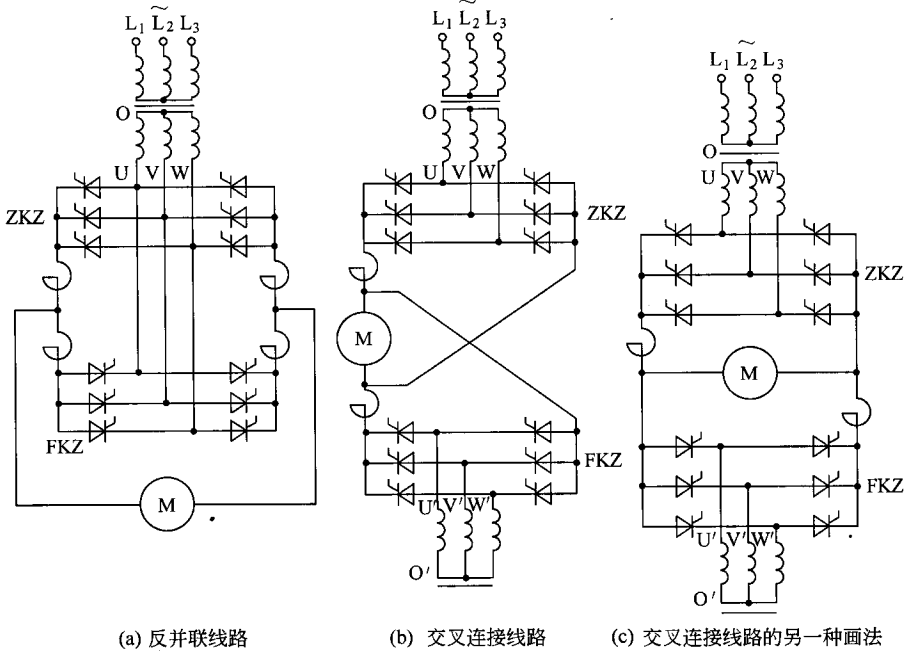


图 1-7 三相桥式可逆线路

有的生产机械并不要求可逆运行，但要求快速制动。对于这种情况，可以把晶闸管装置的控制角 α 移到 90° 以上，使其工作在逆变状态，把直流电能逆变为交流电能回馈电网，实现电动机的回馈制动。由于晶闸管不能通过反向电流，同时，减速制动过程中电动机的反电势不改变极性，因此用为电动机电动状态供电的晶闸管不能实现逆变状态的回馈制动，只有像可逆系统一样，另加一套反组的晶闸管装置才能实现回馈制动。图 1-8 示出了正组电动运行、反组回馈制动及其机械特性曲线。由此可见，虽然不是可逆系统，如果需要快速回馈制动，也应有两组晶闸管装置。对于本来就使用两组晶闸管装置的可逆系统来说，正转运行时可利用反组逆变回馈制动，反转运行时可利用正组逆变回馈制动。

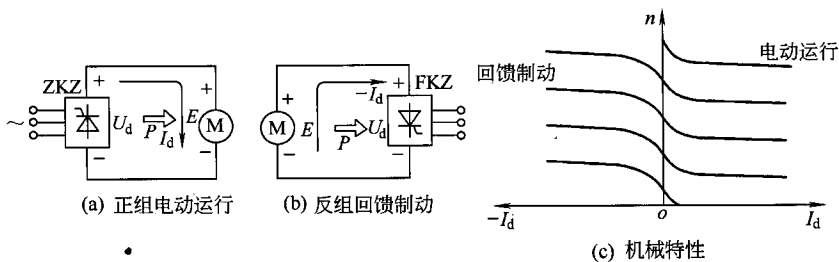


图 1-8 晶闸管-电动机系统正组运行和反组回馈制动及其机械特性

三、串励电动机的控制

串励电动机的电枢绕组和励磁绕组是串联连接的，因此电动机的励磁磁通随电枢电流变化。当电动机负载转矩增大时，磁通增加，电动机转速下降；当负载转矩减小时，磁通减弱，电动机转速上升，电动机输出功率变化不大，所以串励电动机调速属于恒功率调速。串

励电动机启动转矩较大, 过载能力强, 常用在起重和牵引系统中。

1. 直流串励电动机的机械特性

串励电动机的接线如图 1-9 所示。

串励电动机与他励电动机一样具有直流电动机的共同属性, 即串励电动机的三个基本方程, $T = C_m \Phi I$ 、 $E = C_e \Phi n$ 、 $U = E + IR$ 与他励电动机方程在形式上是完全一致的, 所以串励电动机的机械特性方程仍为

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R}{C_e C_m \Phi^2} T \quad (1-12)$$

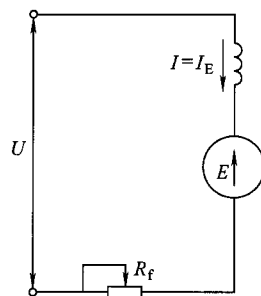


图 1-9 串励电动机接线图

或

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R}{C_e \Phi} I \quad (1-13)$$

但是, 串励电动机的磁通是随电枢电流变化的, 两者的关系符合电动机的磁化曲线。因为磁化曲线难以用准确的数学式表达出来, 所以串励电动机的机械特性也难以准确表示, 只能大致分析其曲线形状, 或根据制造厂在产品目录中提供的 $n = \Phi(I)$ 和 $T = \Phi(I)$ 曲线逐点给出电动机的机械特性曲线。

(1) 固有机械特性 串励电动机端电压为额定电压, 即 $U = U_N$, 附加电阻 $R_f = 0$, 此时的固有机械特性方程为

$$n = \frac{U_N}{C_e \Phi} - \frac{R_s}{C_e \Phi} I \quad (1-14)$$

当电动机负载较小时, 电动机电枢电流也较小, 这时电动机铁芯不饱和, 电枢电流与磁通成正比, 即有

$$\Phi = KI \quad (1-15)$$

式中 K ——比例常数。

电动机的电磁转矩可表示为

$$T = C_m \Phi I = C_m K I^2 \quad (1-16)$$

电枢电流为

$$I = \frac{\sqrt{T}}{\sqrt{C_m K}} \quad (1-17)$$

磁通 Φ 为

$$\Phi = \frac{T}{C_m I} = \frac{\sqrt{K} \sqrt{T}}{\sqrt{C_m}} \quad (1-18)$$

将式 (1-17) 和式 (1-18) 代入式 (1-14) 得

$$n = \frac{U_N \sqrt{C_m}}{C_e \sqrt{K} \sqrt{T}} - \frac{R_s}{K C_s} = \frac{A}{\sqrt{T}} - B \quad (1-19)$$

式中, $A = \frac{\sqrt{C_m}}{C_e \sqrt{K}} U_N$, $B = \frac{R_s}{K C_s}$ 均为常数。所以在轻载磁路不饱和区域, 串励电动机的机械特性为双曲线, 如图 1-10 中的第 1 段。电动机负载增大, 电流也增大, 电动机铁芯趋于饱和。当电枢电流再增大时, 磁通 Φ 增加很少, 可近似认为 Φ 为常数, 机械特性与他励

电动机相似，为一条下斜直线，如图 1-10 中的第 2 段。

上面的讨论给出了串励电动机机械特性曲线的形状，要具体绘制一条固有特性曲线，可利用图 1-11 所示的万用特性曲线。

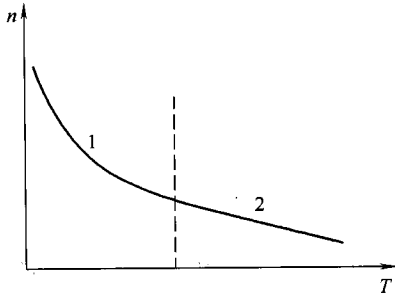


图 1-10 串励电动机的机械特性曲线

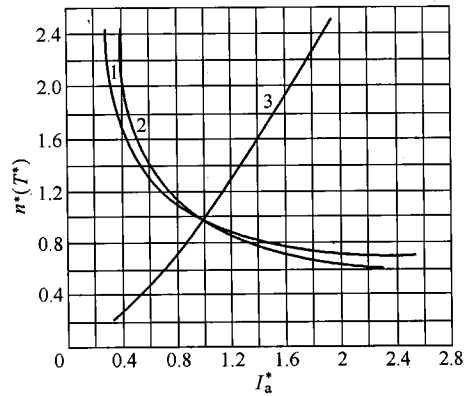


图 1-11 ZZ 系列串励电动机万用特性曲线

图 1-11 中曲线 1 为 5 号机座及以上电动机 $n=\Phi(I)$ 特性；曲线 2 为 4 号机座及以下电动机 $n=\Phi(I)$ 特性；曲线 3 为 $T=\Phi(I)$ 特性。绘制固有机械特性的步骤为：根据电动机铭牌数据求出相对值基底参数 I_N 、 R_N 和 T_N ；然后任取一个电流相对值 I ，在万用特性曲线上查得对应的 T^* 和 n^* ，再由相对值关系求出对应的绝对值 I 、 n 和 T ；就得到了机械特性曲线上的一点。选取一系列 I^* 值重复上述计算，就能得到机械特性上一系列的点，将这些点平滑连接就给出了一条固有特性曲线。

(2) 人为机械特性 串励电动机可利用电枢回路串入附加电阻、降低供电电压、磁场并联分路电阻、电枢并联电阻等方法得到人为机械特性。下面仅讨论应用较多的改变电源电压的人为特性。

改变串励电动机供电电源电压时，用电流表示的人为特性方程为

$$n = \frac{U - IR_s}{C_e \Phi} \tag{1-20}$$

在某一负载电流下，磁通 Φ 保持恒定，电源电压改变时，人为特性曲线在这一电流下的硬度不改变，因此人为特性是一族平行曲线，如图 1-12 所示。

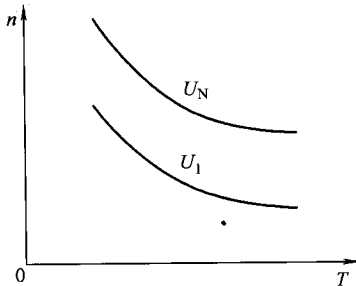


图 1-12 串励电动机降压时的人为特性

2. 制动运行状态

串励电动机的理想空载转速为无穷大，因而不能产生再生发电制动，只能进行能耗制动和反接制动。

串励电动机有自励和他励两种能耗制动方式。自励能耗制动利用电动机剩磁自励来建立电动势形成发电运行，产生制动转矩。应注意，电动机从电动状态变为制动状态时，电枢电流反向，因此必须把电枢绕组或串励绕组头尾调换，使励磁绕组电流保持原来的方向不变，才能实现自励能耗制动。这种制动在转速较高时，产生很大的制动转矩，会使机械受到冲击，随着转速下降，感应电动势和电枢电流减小，磁通也随之减小，因此制动转矩迅速减小，

制动时间延长。这种制动特性是不理想的，这种制动方式多用于事故制动。