

87.5275
XZP

264506

交通系统中等专业学校试用教材

港口起重运输机械电气设备

(港口装卸机械专业用)

上海港湾学校 薛兆沛 主编

人民交通出版社

交通系统中等专业学校试用教材

港口起重运输机械电气设备

(港口装卸机械专业用)

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分三篇。第一篇拖动理论，概述了直流和交流电动机机械特性曲线的物理意义；电动机的起动、制动、调速知识；电动机的选用。第二篇常用电器，概述了我国港口机械电气设备中较常见的各种电器及其作用，并对其中有代表性的电器从结构和动作原理等方面作了说明。第三篇电力拖动自动控制，通过对单元线路的介绍，较详细地分析了起重机自动控制线路，最后例举了几种常用港口起重运输机械的电气线路。

本书为水运中等专业学校港口起重运输机械专业试用教材，也可供有关专业人员参考。

交通系统中等专业学校试用教材 港口起重运输机械电气设备

(港口装卸机械专业用)

上海港湾学校 薛兆沛 主编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：11 插页：2 字数：264 千

1980年6月 第1版

1980年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,600册 定价：0.95元

前 言

本书系根据交通部教育局1978年3月在北京召开的水运中等专业学校教材会议所确定的编审分工，以及同年6月有关学校在上海共同制订的大纲编写而成。

本书由上海港湾学校薛兆沛主编，第一篇电力拖动理论基础由南通河运学校王德、武汉河运学校江善楷编写，第二篇港口常用电器由薛兆沛、王德编写，第三篇由薛兆沛编写。全书插图由王德负责，武汉河运学校江善楷主审，大连海运学校王希宝参加共同审定。

使用本教材的有关学校因招生对象、学制年限不同，课程设置和课时也不可能一致，各校在实际教学中可自行取舍。

因时间仓卒，水平有限，难免有错误及遗漏之处，望批评指正。

编 者

一九七九年一月

目 录

绪 论

第一篇 电力拖动

第一章 电力拖动理论基础.....	2
第一节 概述.....	2
第二节 直流电动机的机械特性和制动.....	5
第三节 直流电动机的调速.....	11
第四节 三相异步电动机的机械特性和制动.....	14
第五节 三相异步电动机的调速.....	19
第六节 复杂的电力拖动.....	22
第二章 电动机的选择.....	24
第一节 三相异步电动机的铭牌.....	25
第二节 电动机的种类选择和结构选择.....	32
第三节 电动机的电压选择和转速选择.....	34
第四节 电动机容量的选择.....	35

第二篇 港口机械常用电器

第三章 手动控制电器.....	42
第一节 闸刀开关.....	42
第二节 铁壳开关.....	44
第三节 组合开关.....	45
第四节 倒顺开关.....	46
第五节 按钮.....	47
第四章 自动控制电器.....	49
第一节 接触器.....	49
第二节 继电器.....	64
第五章 港口机械常用的几种保护电器.....	74
第一节 熔断器.....	74
第二节 自动空气断路器.....	79
第三节 热继电器.....	85
第四节 磁力起动器.....	90
第五节 行程开关.....	91

第六节 电磁抱闸	93
----------	----

第三篇 电力拖动自动控制线路

第六章 电力拖动自动控制线路的基础知识	98
第一节 常用电工系统图形、文字符号和电路简介	98
第二节 鼠笼式异步电动机直接起动控制线路	98
第三节 鼠笼式三相异步电动机的降压起动	105
第四节 鼠笼式异步电动机的制动	110
第五节 绕线式异步电动机的起动控制	112
第六节 直流电动机的控制	127
第七节 电气线路图表示法	129
第七章 起重机械电气线路分析	132
第一节 港口起重机械的供电	132
第二节 行走机构电路分析	138
第三节 旋转机构电路分析	139
第四节 变幅机构电路分析	140
第五节 起升机构电路分析	142
第八章 几种常用港口机械的电气设备	149
第一节 DC-1型1吨电池铲车电气设备	149
第二节 736Z型浮式起重机电气设备	150
第三节 3-18浮式起重机电气设备	154
第四节 Q 161型轮胎起重机的电气设备	157
第五节 连续运输机的电气设备	161
第六节 电梯的电气设备	163
附录	167
附表	168

绪 论

港口装卸生产与起重运输机械的发展是分不开的，起重运输机械的发展在很大程度上取决于动力装置性能的改进。因为电能便于控制、传输、分配和使用，所以用电力作为动力主要能源有很大的优越性。电气设备种类、型号的增多，性能的改进，尤其是电子工业的发展，更进一步促进了港口的机械化、电气化。

电气设备的自动控制，主要体现在对电力拖动核心——电动机的控制上。电力拖动已由简单的断续控制发展到复杂的连续控制，由单个电动机的自动控制发展到对多台电动机的联合控制，由单机的自动化发展到整个装卸作业流水线的自动控制。

现就对电动机的控制，说明电气设备在港口起重运输机中的作用：

1. 利用各种电气仪表准确测量各种电量、非电量的数据，如电压、电流、功率、重量、温度和时间等，并能发出相应的信号或报警；
2. 对单个电动机的起动、反转、停止是最简单的自动控制，如连续输送机（斗轮机、链板机、皮带机）、气力输送机的电动机；
3. 对电动机实行电气制动和调速，使起重运输机械在装卸过程中达到理想的工作速度和有效的制动，保证了装卸质量并提高了工作效率；
4. 加装各种保护性电气元件，如过流继电器、熔断器和限位开关等，可对整个装卸机械进行超载和稳性保护。配用辅助电机，可校正大跨距装卸桥两边支腿间的跑偏等；
5. 在一台机械上用几台电动机分别驱动各工作机构时，能协调地配合完成各种装卸动作。将不同的起重运输机械有机的组合，能实行整个作业线或作业区的全面生产自动化。如南京浦口煤炭作业区，首先用翻车机将车皮作 180° 的旋转，将煤倒进坑道，再用连续输送机将煤从坑道输送到卸煤机，最后通过喷煤嘴装舱，完成整个装卸作业的机械化。

在机械设计或技术革新中必须熟悉电气设备自动控制，才能更好地做到机电配合。

本课程以“电工学”知识为基础。根据港口装卸机械对电力起动、驱动、操作控制及安全保护为内容编写而成。

本课程的内容与要求概述如下：

第一篇电力拖动理论，介绍了直流电动机和交流电动机机械特性曲线的物理意义；电动机的起动、制动和调速知识；电动机的选择。

第二篇港口常用电器，介绍了我国港口机械电气设备中常见的各种电器的特性和作用，并就其中有代表性的电器，从结构及动作原理方面作了说明，以便选择、使用和维护。

第三篇电力拖动自动控制，使用国家规定的电工系统图形、文字符号，对各种单元线路进行了分析，熟悉自动控制线路原理（重点是交流异步电动机的控制），在此基础上较详细地分析了港口起重运输机械行走、旋转、变幅和起升四大机构的电气线路，并列举了具有典型性的起重运输机械自动控制线路。学习本篇后，除了熟悉单元线路控制原理并对大中型起重机械电气设备全面了解外，应能独立设计或改进较简单的控制线路。

第一篇 电力拖动

第一章 电力拖动理论基础

第一节 概 述

各种生产机械的运动都需要动力，动力有人力、畜力、水力、风力、热力、电力等。凡是用电动机使生产机械产生运动的，就称为电力拖动。

电能的输送经济方便，电动机的控制和使用也比较灵敏可靠，由电机和各种保护电器组成的自动化电力拖动能自动完成预定的工作循环，能满足生产机构的要求和实现远距离操作，因此电力拖动得到广泛的使用。

电力拖动是海、河港口各种起重运输机械最主要的驱动方式。

电力拖动理论研究：电动机拖动生产机械时的运动规律、电动机的机械特性、工作状态、调速性能以及电力拖动的过渡过程和电动机的选择等。

一、电动机的机械特性

电动机的机械特性，是指电动机的转速 n_2 与其轴上发出的转矩 M_2 之间的关系

$$n_2 = f(M_2)$$

生产机械的负载转矩 M_2 与它的转速 n 之间也有一定的关系，称为生产机械的机械特性。当电动机的转矩 M_2 与负载转矩 M_2 相等并不变时，就得到转速 n 为一定的平衡工作状态。但是生产机械的负载经常有变化，电动机在起动、制动、调速时，其转矩也发生变化，为了使电动机更好地满足生产机械的机械特性要求，它们之间要互相适应。

各种电动机的机械特性不同，常用硬度 α 来表明其转速随转矩变化的程度，即

$$\alpha = \frac{\Delta M}{\Delta n}$$

式中： ΔM 、 Δn 分别表示转矩、转速的相对变化量。

根据机械特性硬度的大小，电动机的机械特性可以分成三类：

1. 无落差特性又称绝对硬特性：转矩改变而转速不变。如同步电动机的机械特性硬度 $\alpha \rightarrow \infty$ 。

2. 硬特性：当转矩增加时转速下降甚小。它的硬度 $\alpha = 10 \sim 40$ 。如交流异步电动机和直流他（并）激电动机的机械特性。

3. 软特性：转速随转矩作很大的变化，它的 $\alpha < 10$ 。例如直流串激电动机的机械特性。

电动机的机械特性见图1-1。

二、电动机的工作状态

电动机的工作状态有两种：电动状态和制动状态。

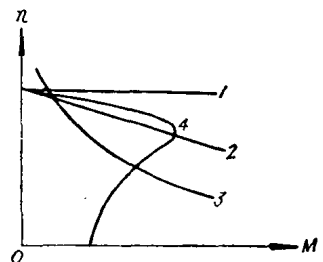


图1-1 电动机的机械特性
1-同步电动机的；2-他（并）激电动机的；3-串激电动机的；4-交流异步电动机的

电动机产生的电磁转矩拖动轴上的负载运行，这种工作状态为电动状态；电动机产生的电磁转矩阻止轴上的负载运动，这种工作状态为制动状态。我们将它的机械特性表示在以 $n-M$ 为座标的四个象限中，如图 1-2 所示，取逆时针方向为正方向，顺时针方向为负方向。

在第一象限中，电磁转矩 M_2 与转速 n_2 均为正，电动机正转，处于电动状态。如：在水平移动机构中，电磁转矩 M_2 克服负载转矩 M_L 而使负载移动。

在第二象限中，电磁转矩 M_2 为负，转速 n_2 为正，电动机正转，在制动（发电）状态下工作。如水平移动机构受外力（由顺风、路面倾斜所产生的）的作用时，为了防止小车以过大的加速度向前运行，需要移动时的制动，这时产生的反抗负载转矩 M_L 与轴转动的制动力矩 M_{ed} 是一致的。

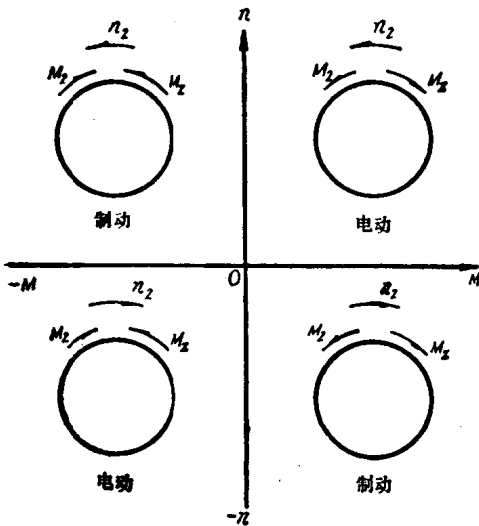


图1-2 电动机工作状态座标图

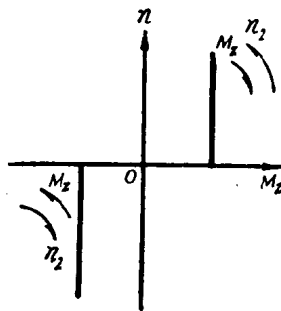


图1-3 反抗性负载转矩与转向关系

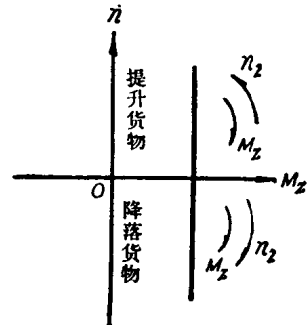


图1-4 位能性负载转矩与转向关系

在第三象限中，电磁转矩 M_2 和转速 n_2 均为负，电动机反转，在电动状态下工作。如起重机起升机构的负载转矩 M_L 等于电动机的电磁转矩 M_2 与帮助电动机转动的负载位能转矩 M_w 之差，称为轻载强力下降。

在第四象限中，电磁转矩 M_2 为正，转速 n_2 为负，电动机反转，处于制动（发电）状态。如起重机起升机构的负载转矩 M_L 等于帮助电动机转动的负载位能转矩 M_w 和电动机的电磁转矩 M_2 之差，称为负载制动下降。

在以后的章节中，将结合港口机械的具体机构来分析电动机的不同工作状态及其控制线路。

三、负载转矩与旋转方向的关系

负载转矩 M_L 与旋转方向 n_2 的关系也可用 n_2-M_L 座标来表示，但它必须与电动机工作状态座标图（图1-2）配合。我们假定负载转矩 M_L 以顺时针为正方向，而以逆时针为负方向。

图1-3表示恒定反抗性负载转矩与旋转方向的关系，当旋转方向改变时，反抗负载转矩的方向也随之改变。

图1-4表示恒定位能性负载转矩与旋转方向的关系，如起重机起升机构的旋转方向改变时，位能负载转矩的作用方向不变。

四、电动机的起中和反转

电动机的起中是指电动机接通电源后，转速由零上升到稳定转速的全部过程。要求起中

时间短，在提高生产率和保证电动机安全的前提下有较大的起动力矩。

电动机起动时，会有很大的起动电流，必须设法减小。直流电动机一般不能直接起动，常用的方法有两种，电枢电路加电阻和降压起动。中小型鼠笼式异步电动机当电源容量足够大时可直接起动，大多数为降压起动。绕线式异步电动机采用转子绕组串联电阻的方法起动。

改变直流电动机激磁电流的方向或电枢电流的方向即可反转。三相异步电动机中任意调换其中二相也可达到反转的目的。

对于电动机起动和反转的控制方法将在后面的章节中介绍。

五、电动机的制动

制动，就是在运动物体上加一与运动方向相反的力或转矩，克服运动物体的惯性而加快减速。此力或转矩称为制动力或制动转矩。一般常用的制动方法有机械制动和电力制动两种。机械制动由有关机械课程介绍。电力制动是电机的一种特殊运行状态，此时电机所产生的电磁转矩与转子的旋转方向相反，见图 1-2 第二、四象限，阻止其轴上负载的运动，称制动转矩。

必须指出，制动不能仅仅理解为刹车，电力拖动系统的制动情况有：

1. 刹车；

2. 在调速过程中也常常有电气制动现象；

3. “重物等速下降”，重物下降时所产生的力矩如果超过起重机械的摩擦力矩，则下降的速度会越来越快，为了制止这种加速度，要用电气制动使重物等速运行。这属于变加速为等速的制动。

机械对制动的要求：

1. 制动迅速；

2. 制动过程中能量损失小，设备简单；

3. 对电网（即对于同一电网上的其它负载）的运行影响小；

4. 制动准确（行程限制）；

5. 制动平稳；

6. 安全可靠。

我们将分节介绍直流、交流电动机的电力刹车制动方法，而选用的电器及其控制线路将持续章介绍。

六、调速

生产机械往往需要不同的转速。通常采用下列三种调速方法：

1. 电气调速，即根据生产要求强制改变电动机的旋转速度，实质上也就是改变电动机的机械特性，这与因负载改变而引起电动机转速的变化是完全不同的，不能混为一谈；

2. 机械调速，即用变速齿轮箱等机械装置进行调速；

3. 液压调速。

本课程只介绍电动机的电气调速方法。

调速性能常用下列指标说明：

1. 调速范围 D ：额定负载下最高转速与最低转速之比

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$$

2. 调速的平滑度 g ：二相邻速度之比

$$g = \frac{n_1}{n_{1-1}}$$

3. 调速的稳定性: 额定负载下的转速降落 ($\Delta n_{\text{额定}}$) 与同步转速 (n_0) 之比, 称为转差率 s ,

$$s = \frac{\Delta n_{\text{额定}}}{n_0}$$

用转差率 s 来表示生产机械的调速稳定性, s 越小, 稳定程度越高。不同的生产机械对转差率的要求不一样。调速的稳定性与调速范围有一定的关系, 在同一电力系统中, 稳定性要求高的, 调速范围就缩小。

4. 调速的经济性: 不仅要考虑调速系统的技术性能, 而且还要考虑其经济性。力求设备投资少, 能量损耗小, 操作方便, 维护容易, 节省人力和物力。

如果拖动用的电动机具有良好的调速性能、调速范围广、调速平滑而稳定、经济, 那末将会大量简化机械结构, 提高生产率和加工质量。

我们将分别讨论直流、交流电动机的调速方法和调速性能。

七、电力拖动系统的过渡过程

过渡过程是指电力拖动系统从一个稳速状态变化到另一个稳速状态。例如电动机的启动, 开始时转速为零, 然后逐渐升高到某一工作转速, 这中间有一个过程, 称为过渡过程。电力拖动的过渡过程, 一般包括电磁过渡过程和机械过渡过程。

电力拖动系统在启动、反向、制动、负载变化或碰到事故时, 都要引起工作状态的变化。由于电力拖动系统中包含着许多惯性元件, 如运动的机械元件、电路中的电感电容等, 它们从一个稳定工作状态不可能突变到另一个稳定工作状态, 必须要有一个过渡的时间, 在这个时间内, 速度、转矩和电流等都将依照一定的规律变化。在生产过程中, 过渡过程通常是非生产时间, 但对某些生产机械如各种起重机来说, 缩短过渡过程对于提高生产机械的效率有一定的作用。我们必须注意电力拖动的过渡过程。但鉴于本专业的要求, 此内容我们不作介绍。

八、电动机的选择

正确地选用电动机, 是十分重要的。如果选择得恰当, 电动机就能安全、经济、可靠地运行。如果选择得不合适, 轻则造成浪费, 重则烧毁电机, 以致不能保证生产的正常进行。电动机的选择将在第二章中讲述。

第二节 直流电动机的机械特性和制动

按直流电动机激磁绕组和电枢绕组不同的连接方式, 分为他激、并激、串激和复激几种。他激与并激相似, 由两直流电源供电, 复激是并激和串激的组合。我们主要讲述并激和串激电动机, 对复激电动机略加介绍。

一、并激直流电动机

图 1-5 是并激直流电动机的线路图。

1. 机械特性

就是在电动机的端电压等于额定值和激磁电路的电阻保持不变的条件下, 电动机轴上的转速和转矩的关系曲线, 即 $n = f(M)$ 。

由直流电动机的电压平衡方程式可得到直流电动机的转速公式

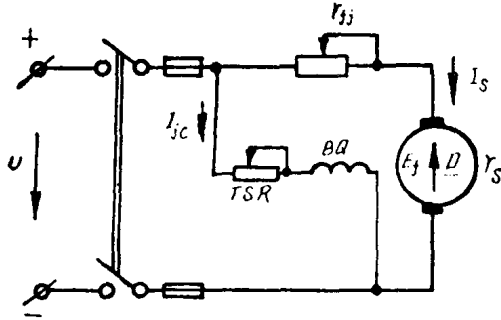


图1-5 并激直流电动机

U -电源电压; I_a -电枢电流; r_a -电枢电阻; E_c -反电势; r_{tj} -附加电阻; I_{fc} -激磁电流; BQ -并激绕组; TSR -调速电阻

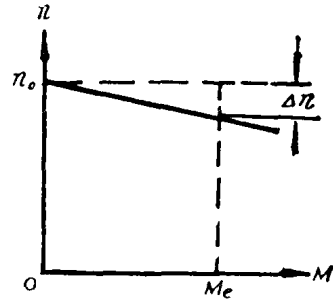


图1-6 并激直流电动机的机械特性

$$n = \frac{U - I_a(r_a + r_{tj})}{C_e \cdot \Phi} \quad (1-1)$$

式中: C_e ——由电动机结构确定的常数;

Φ ——主磁通。

将 $M = C_M \cdot \Phi \cdot I_a$ (式中 C_M 为一常数, 由电动机的结构决定) 化成 I_a 值代入上式得

$$n = \frac{U}{C_e \cdot \Phi} - \frac{r_a + r_{tj}}{C_e \cdot C_M \cdot \Phi^2} \cdot M = n_0 - bM = n_0 - \Delta n \quad (1-2)$$

式中: $n_0 = \frac{U}{C_e \cdot \Phi}$ 称为理想空载转速。因为空载损耗永远存在, 所以电动机电动状态的转速永远达不到 n_0 的数值;

$$b = \frac{r_a + r_{tj}}{C_e \cdot C_M \cdot \Phi^2} \text{ 当激磁电流不变时, 主磁通也基本上不变, 所以 } b \text{ 是一常数。}$$

(1-2)式为并激直流电动机机械特性的普遍公式。从数学意义上讲, 这是一个直线方程式。用图象表示, 它是一条向下倾斜的直线, 其斜率是一负值, 如图1-6所示。当负载增大时, 电动机的转速下降, 在一定负载转矩下, 转速降 Δn 决定于电枢电路中串联电阻 r_{tj} 的大小, 串联电阻愈大, 随着负载转矩的增加, 转速下降愈厉害。

并激电动机从空载到额定负载的转速变化 Δn 只有额定转速的 5~12%, 表明并激直流电动机的机械特性是硬特性。适合拖动负载变化时转速要求变化不大的生产机械, 如大型车床、龙门刨床、通风机、泵、压缩机等。

并激电动机在运转时必须注意, 切不可断开激磁电路。否则, 激磁电流等于零, 主磁极上仅有很小的剩余磁通, 反电势很小, 电枢电流和转速将急剧增加, 会引起严重事故。

2. 制动

介绍三种制动方法: 能耗制动、反接制动、再生(反馈)制动。

1) 能耗制动

当要求电动机迅速停止时, 可以把电动机的电枢从供电线上拉开并立刻接在一附加电阻 r_{tj} 上, 组成闭合回路 (见图 1-7 将双极双投开关从左边拉开设向右边), 而激磁电路仍接在直流电

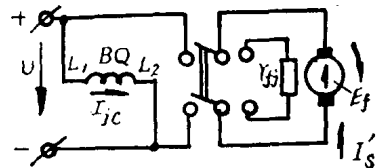


图1-7 并激电动机的能耗制动接线图

源上, 此时电枢虽然与电源断开, 但由于惯性, 仍然保持原来的方向继续旋转, 电枢绕组中仍有感应电势, 并且电势方向不变 (由于激磁电流及旋转方向均未变)。在此电势作用下, 电枢和附加电阻 r_{fj} 组成的闭合电路中产生了同方向的电流 I'_s , I'_s 的方向与电动机运行状态时的电枢电流 I_s 方向刚好相反, 此时的电磁转矩对电枢起制动作用。制动的实质是将电动机轴上的旋转动能变为电能消耗在电阻 r_{fj} 和电枢电阻 r_a 中, 故称为能耗制动。

能耗制动时, 电动机的机械特性处于第二象限 (或第四象限), 是一条过原点的直线, 见图 1-8。

能耗制动的优点是能够准确停车, 能量消耗小, 在制动过程中几乎不需要从电源吸取能量, 线路简单可靠, 制动平滑。缺点是当制动到转速较低时, 制动转矩减少很多, 制动作用就不够有力, 即制动效果与转速成比例地减小, 制动时间较长。因此在许多生产机械中常将能耗制动与机械抱闸制动配合使用, 使生产机械迅速停车。

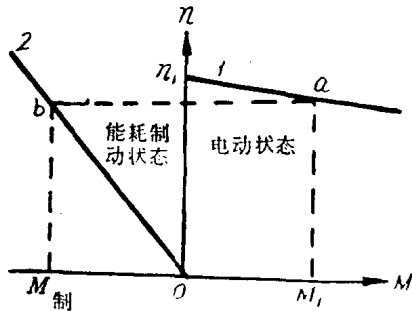


图1-8 并激直流电动机在电动状态和能耗制动状态时的机械特性

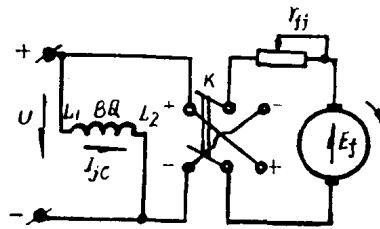


图1-9 并激直流电动机反接制动原理图

2) 反接制动

如要求电动机迅速停止下来, 亦可用电枢两端反接的方法, 改变电枢两端外加电压的方向, 电枢电流的方向也改变, 但磁场方向不变, 此时产生的电磁转矩与电枢旋转方向相反, 起了制动作用, 使电动机迅速停车。见图 1-9, 将闸刀 K 由左投向右就可反接制动。但必须注意, 当电动机停转以后, 必须及时将电源断开, 否则电动机开始朝反方向旋转。还必须注意, 在反接瞬间, 电动机仍按原方向旋转, 电枢中感应电势 E_f 的方向不变, 而电源电压方向反了, 与电枢电势同方向, 电枢电流很大, 其值为

$$I'_s = \frac{-U - E_f}{r_a} \approx \frac{-2U}{r_a}$$

这将对电网和电动机产生很大的冲击, 因此在反接制动时必须在电枢电路中加入较大的附加电阻 r_{fj} 来限制电流。

反接制动时, 电动机的机械特性在第二象限, 见图 1-10。

除了上述电源反接制动外, 还有倒拉反接制动, 即转速反向制动, 我们不作介绍了。

反接制动简单方便, 制动效果好。但能量消耗大, 制动准确度差。适用于从正转变为反转的拖动系统, 因为这种制动和反向旋转过程一样。对单向运转的拖动系统, 用能耗制动比较简单。

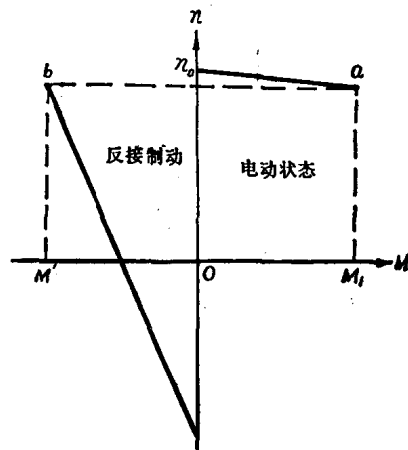


图1-10 并激直流电动机反接制动的机械特性

3)再生(反馈)制动

并激电动机运行时,由于某种外加因素如移动式起重运输机械下坡、起重放下重物等,物体重力在轴上形成转矩,当电动机的转速高于理想空载转速时,电动机便处于发电状态,外加的重力拖动电枢做功,将机械能转换成电能反馈给电网,电动机的转矩变为负值,这种制动称为再生制动,也称反馈制动。见图1-11。

再生制动时,电动机的机械特性在第二象限,见图1-12。

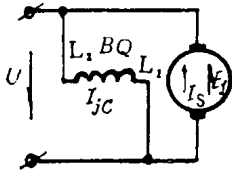


图1-11 并激直流电动机再生制动接线图

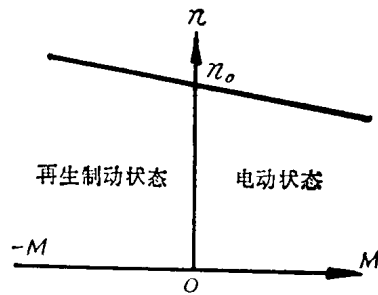


图1-12 并激直流电动机再生制动的机械特性

二、串激直流电动机

图1-13是串激直流电动机接线图,其励磁绕组与电枢串联,串激电动机的电枢电流 I_a 和励磁电流 I_{jc} 是同一个电流,即

$$I_a = I_{jc} = \frac{U - E_f}{r_a + r_{jc}}$$

其磁通不是恒定的,随负载的变化而改变,而负载转矩增加一倍时,电枢电流仅增加40%,因此它的过载能力强。正由于这一特点就决定了串激电动机的运行特性不同于并激电动机。

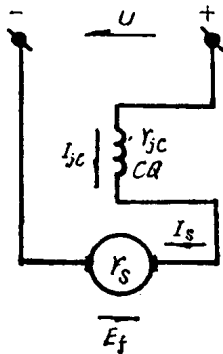


图1-13 串激直流电动机

U -电源电压; I_a -电枢电流; CQ -串激绕组; I_{jc} -串激绕组电流; r_a -电枢电阻; r_{jc} -串激绕组电阻; E_f -反电势

1.机械特性

串激电动机的转速公式为

$$n = \frac{E_f}{C_e \cdot \Phi} = \frac{U - I_a(r_a + r_{jc})}{C_e \cdot \Phi} \quad (1-3)$$

当负载增加时,由于电压降 $I_a(r_a + r_{jc})$ 增加和磁通 Φ 增加的双重影响,使得串激电动机的转速剧烈下降,因此,串激电动机具有软的机械特性,如图1-14所示。串激电动机具有轻载时转速高、重载时转速低的特性,串激电动机的转矩几乎与电流的平方成正比,故起动转

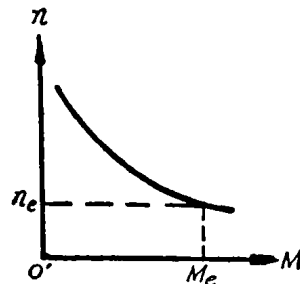


图1-14 串激直流电动机的机械特性

矩大。串激电动机的这些特性最适宜于拖动起重运输机械的行走机构。但在负载过小或空载时转速过高，在空载时， $I_a \rightarrow 0$ ， $\Phi \rightarrow 0$ ，使 $n \rightarrow \infty$ 。因此串激电动机不允许轻载（小于额定转矩的20~30%）或空载运行。正因为这样，串激电动机与生产机械都是直接或借助于齿轮传动的，而不采用皮带传动。

串激电动机的起动和并激电动机一样，由于刚起动时反电势为零，所以起动电流很大。因此在起动时也必须要在电枢电路中串入起动电阻，以限制起动电流。

2. 制动

串激直流电动机只有反接制动和能耗制动两种制动状态。由于它没有理想空载转速($n_0 \rightarrow \infty$)，不可能向电网回馈电能，因此没有再生制动。

1) 能耗制动

能耗制动有两种接线法，一种是自激能耗制动，一种是他激能耗制动。

图1-15是串激电动机的自激能耗制动，a)为串激电动机正常运转时的接线图。进行能耗制动时，不能采用b)图的接线，因为电动机脱离电源后，由剩磁产生的电势 E_0 方向未变，接上附加电阻 r_{fj} 后，产生的电流方向改变，起着去磁作用，因此， E_0 很快下降，电流亦迅速消失，故不能产生制动作用。若按照c)图的接法，通过激磁绕组的电流方向未变，起着助磁作用，因此电势得以建立，产生制动转矩，迅速将电动机传动系统的机械能消耗掉，达到制动的目的。即采用自激方式制动时，必须将激磁绕组或电枢两端接线调换一下，否则剩磁受到去磁作用而被抵消就不可能得到制动。

串激直流电动机自激能耗制动的机械特性在第二象限（或第四象限）内，见图1-16。

串激电动机的他激能耗制动见图1-17。

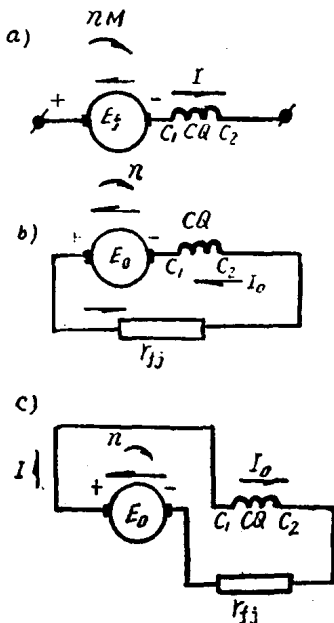


图1-15 串激直流电动机自激能耗制动接线图

a) 正常运转时；b) 不正确的能耗制动接线；
c) 正确的能耗制动接线

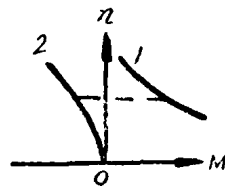


图1-16 串激直流电动机自激能耗制动的机械特性

1-电动状态；2-能耗制动状态

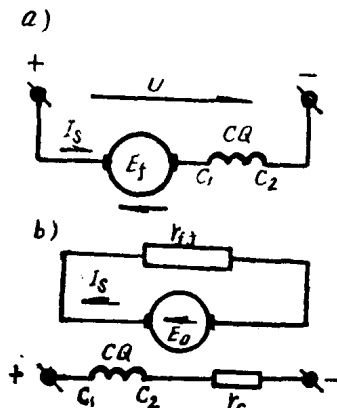


图1-17 串激直流电动机他激能耗制动接线图

a) 正常运转时；b) 能耗制动状态时

2) 反接制动

反接制动时，将电枢两端或激磁绕组的两端反接，如图1-18所示，a)为电动工作状态，

b)为反接制动状态。仅将串激电动机的电枢两端反接，激磁绕组接法不变，这时流入电动机电枢的电流方向相反，而磁场方向不变，因此产生的转矩方向相反，起着制动的作用。

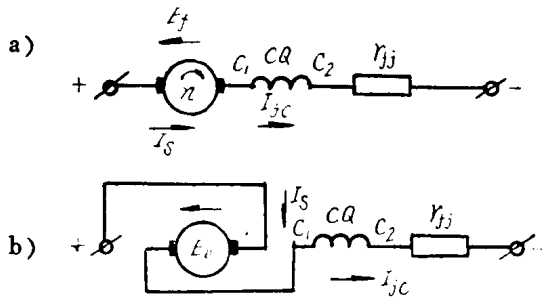


图1-18 串激直流电动机反接制动接线图
a) 电动工作状态; b) 反接制动状态

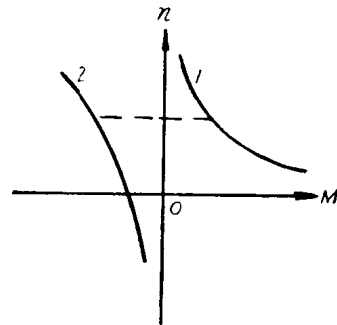


图1-19 串激直流电动机反接制动的机械特性
1-电动状态; 2-反接制动状态

如果将电源两端反接，则不能达到反接制动的目的。

串激直流电动机的反接制动与并激的一样，不过它的机械特性有相当大的斜度，它的机械特性见图1-19。

反接制动时，会产生很大的制动电流，故必须串联相当大的电阻限制之。

反接制动是串激直流电动机的基本制动状态。

三、复激直流电动机

复激直流电动机的正常运行情况和三种电气制动(能耗、反接和再生)方式详见表1-1。

复激直流电动机电动状态和制动状态比较表

表1-1

运行状态	接线图	特点	电压平衡关系	机械特性	三种制动状态比较	
					优点	缺点
电动状态		<ol style="list-style-type: none"> $U > E$; 变电能为机械能; 电磁转矩与旋转方向相同 	$U = E_f + IR$			
能耗制动		<ol style="list-style-type: none"> $U = 0$; 变拖动系统中的动能或位能为电能，电能消耗在电枢电路中的电阻上; 电磁转矩方向与旋转方向相反 	$E_f = I \cdot R$		<ol style="list-style-type: none"> 工作可靠; 接线简单; 比较经济; 停车准确 	制动效果与转速成比例降低
反接制动		<ol style="list-style-type: none"> U与E方向一致，电动机成为与电网串联的发电机; 除变动能或位能为电能外，还从电网吸收电能，一起消耗在电枢电路中的电阻上; 电磁转矩方向与旋转方向相反 	$U + E_f = I \cdot R$		<ol style="list-style-type: none"> 制动强烈且迅速; 低速时也有好的制动效果 	<ol style="list-style-type: none"> 有自动反转的可能性; 不经济，要从电网吸收电能 机件受冲击较大
再生制动		<ol style="list-style-type: none"> $E > U$即$n > n_0$; 电动机成为与电网并联的发电机，有电能反馈至电网; 电磁转矩和旋转方向相反 	$E_f = U + I \cdot R$		<ol style="list-style-type: none"> 可靠; 简单、不用改变接线可实现制动; 经济，制动时有电能反馈至电网 	不能用它来停车

第三节 直流电动机的调速

直流电动机的转速公式

$$n = \frac{U - I_a(r_a + r_{ic})}{C_e \cdot \Phi}$$

从公式可看出有三种调节转速的方法：

1. 改变激磁电流从而改变磁极的主磁通 Φ ；
2. 通过串联于电枢电路的变阻器以改变电枢电路的电阻（用于调速的变阻器称为调速变阻器，是按长期负载电动机额定电流设计的）；
3. 改变电源电压。

其中 1、2 两种方法在一般场合下都能采用，可用于各种直流电动机。3 法仅用于他激电动机，并须具备专用的可变直流电源。

一、并激直流电动机的调速

1. 改变磁通 Φ 调速

改变定子磁场的磁通 Φ 可以通过改变激磁电路中的电流 I_{ic} 来达到，也就是通过改变激磁电路中的电阻 r_{ic} 来达到，其接线见图 1-20。

电源电压 U 一定，当增加 r_{ic} 时，激磁电流 I_{ic} 减小，磁通 Φ 也随着减小。由于转动部分的惯性，转速不会立即改变，于是反电动势 $E_f = C_e \cdot n \cdot \Phi$ 减小，电枢电流 $I_a = \frac{U - E_f}{r}$ 增大，通常 I_a 增加所产生的影响超过 Φ 减小所产生的影响，因此转矩 $M = C_M \cdot \Phi \cdot I_a$ 增大，使转速 n 上升。随着 n 的升高，反电势 E_f 增大， I_a 和 M 随着减小，直至 $M = M_c$ （负载转矩）时，电动机以比原来较高的转速继续运转。此时电枢电流要大于调速前的数值。

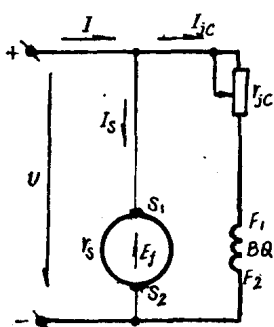


图1-20 并激直流电动机改变磁通 Φ 来调速

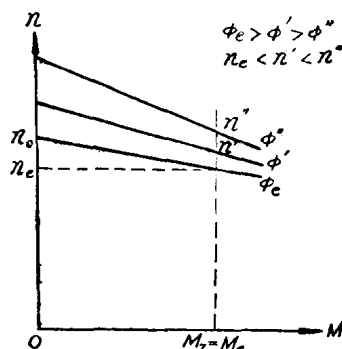


图1-21 并激直流电动机改变磁通 Φ 时的机械特性

图1-21表示并激直流电动机在不同 Φ 时的机械特性，从图中可以看出，在负载转矩 M_c 一定时， Φ 的数值愈小，电动机的转速 n 愈高。但是转速并不能无止境地往上升高，因为最高转速要受到电枢机械强度和换向条件的限制。

这种调速方法优点较多，由于 I_{ic} 小，消耗在 r_{ic} 的功率也很小，较经济，设备简单，初投资低，通过均匀调节电阻可接近无级调速。但只能在额定转速以上改变转速。一般调速范围为 1.2 : 1。

2. 在电枢电路中串联电阻 r_t 调速