

中等专业学校教学用书

建筑工业电气装备

沈阳建筑工业专科学校编



中国工业出版社

中等专业学校教学用书



建筑工业电气装备

沈阳建筑工业专科学校编

中国工业出版社

本书分五篇二十二章。第一篇三章介绍电动机机械特性、调速特性和容量选择方法；第二篇四章叙述自动控制电器、一般控制线路、交流电动机机组和同步机控制特性与线路；第三篇五章讲解起重机械、机床、流体动力机械和液体运输系统的自动控制电气装备；第四篇六章阐明各部门生产设备的电气装备与自动控制线路；第五篇四章讲述建筑工业的供电与照明。

本书为中等专业学校硅酸盐工艺、建筑与筑路机械及建筑工业机械设备等专业教学用书，也可供有关技术人员参考。

建筑工业电气装备
沈阳建筑工业专科学校编

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）
（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

—中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

开本787×1092¹/₁₆·印张16¹/₂·插页5·字数382,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数0001—1,537·定价（9-4）1.65元

统一书号：15165·622（建工—49）

目 录

緒 論

第一篇 电力拖动基础

第一章 电动机的机械特性	7
第一节 机械特性的概念	7
第二节 他激电动机的机械特性	7
第三节 电动机的制动状态	9
第四节 他激电动机机械特性的繪制法	12
第五节 串激电动机机械特性	15
第六节 异步电动机机械特性	18
第七节 异步电动机的各种制动状态	22
第八节 起动电阻的计算方法	24
第九节 各种电动机的調速特性	30
第二章 电力拖动的动力学基础	34
第一节 运动方程式	34
第二节 过渡过程的时间特性	37
第三节 GD^2 的推算	42
第四节 应用运动方程式做負載图	45
第三章 电动机的容量选择	47
第一节 电动机的发热方程式	47
第二节 选择連續运转电动机容量的方法	50
第三节 断续运转电动机容量选择	53
第四节 短时运转电动机容量选择	54

第二篇 繼电接触器自动控制綫路

第四章 自动控制电器	55
第一节 操纵用电器	55
第二节 接触器	58
第三节 电磁继电器	59
第四节 时间继电器	61
第五节 热继电器和中间继电器	63
第六节 电磁鉄	64
第七节 变阻器	64
第八节 控制器	65
第五章 自动控制綫路	67
第一节 控制綫路的基本規則	67
第二节 简单电路和保护环节	69

第三节 电动机的自动起动	71
第四节 电动机的制動綫路	76
第六章 同步机的控制綫路	80
第一节 同步机的控制要求	81
第二节 同步机的控制綫路	84
第七章 发电机电动机系統的控制綫路	89
第一节 发电机电动机系統	89
第二节 发电机、电动机組起、制动的过渡过程	92
第三节 发电机、电动机組的控制綫路	96

第三篇 通用生产机械的电气装备

第八章 桥式起重机的电气装备	99
第一节 起重机的概念	99
第二节 起重机电动机容量的选择	100
第三节 起重机的电力轉动方式	104
第四节 起重机的控制綫路	105
第五节 起重机的保护盘和全图	111
第九章 机床的电气装备	115
第一节 車床的概念	115
第二节 机床的調速	117
第三节 机床的电力拖动方式	119
第四节 車床的控制綫路	120
第五节 龙门鉋床的电气装备	122
第十章 流水运输系統的电气装备	131
第一节 流水运输系統的概念	131
第二节 流水綫的控制綫路	132
第十一章 流体动力机械的电气装备	137
第一节 空气压缩机的电气装备	137
第二节 水泵的电气装备	141
第三节 通风机的电气装备	144
第十二章 交磁放大机控制系統	144
第一节 交磁放大机原理	144

第二节	交磁放大机控制的恒速调整系统	159
-----	----------------	-----

第三节	下坠特性和截止装置	157
-----	-----------	-----

第四节	自激放大机控制系统	160
-----	-----------	-----

第四篇 建筑工业设备的电气装备

第十三章 水泥车间的电气装备

第一节	水泥生产的工艺过程	162
-----	-----------	-----

第二节	水泥厂对电力拖动和控制的 要求	162
-----	--------------------	-----

第三节	迴轉窑系统的电力拖动	163
-----	------------	-----

第十四章 电焊的电气装备

第一节	电弧	169
-----	----	-----

第二节	交流电焊设备	171
-----	--------	-----

第三节	直流电焊设备	176
-----	--------	-----

第四节	自动电弧焊接机	180
-----	---------	-----

第五节	电阻焊接设备	182
-----	--------	-----

第十五章 电热的电气装备

第一节	电阻炉	187
-----	-----	-----

第二节	内热式盐浴炉	191
-----	--------	-----

第三节	高频感应电炉	193
-----	--------	-----

第四节	电弧炉	197
-----	-----	-----

第十六章 温度的电气测量与控制

第一节	热电式高温计	202
-----	--------	-----

第二节	自动电位差计	206
-----	--------	-----

第三节	电阻温度计	209
-----	-------	-----

第四节	KZ1型电子温度调整器	213
-----	-------------	-----

第十七章 烟尘的静电除尘

第一节	概述	215
-----	----	-----

第二节	收尘室的构造和工作原理	218
-----	-------------	-----

第三节	高压设备和电气系统	217
-----	-----------	-----

第四节	高压直流供电设备	218
-----	----------	-----

第五节	静电除尘器维护的安全技术	222
-----	--------------	-----

第十八章 建筑工地的电热设备

第一节	混凝土电热法	223
-----	--------	-----

第二节	土壤电热法	226
-----	-------	-----

第三节	砖砌体的电热法	227
-----	---------	-----

第四节	电热在建筑工业中的其他 用途	228
-----	-------------------	-----

第五篇 电能的产生、输送和分配

第十九章 发电站

第一节	发电站的种类和生产过程	230
-----	-------------	-----

第二节	建筑工地的移动电站	233
-----	-----------	-----

第二十章 变电所和配电装置

第一节	变电所的作用和种类	236
-----	-----------	-----

第二节	变电所的高压电气设备	237
-----	------------	-----

第三节	变电所的结构	242
-----	--------	-----

第四节	临时变电所	245
-----	-------	-----

第二十一章 供电线路

第一节	供电电源和电压的选择	248
-----	------------	-----

第二节	結綫方式的选择	249
-----	---------	-----

第三节	电力网导綫截面的选择	250
-----	------------	-----

第四节	熔断器的选择	256
-----	--------	-----

第二十二章 电气照明

第一节	基本概念	259
-----	------	-----

第二节	白炽灯和灯罩	260
-----	--------	-----

第三节	照明系统和照度标准	264
-----	-----------	-----

第四节	照明设备的设计和计算	266
-----	------------	-----

第五节	萤光灯照明	273
-----	-------	-----

緒 論

电气装备不仅是生产设备的动力装备，而且还是生产过程的自动控制设备。在电焊、电热、电化学等生产部门中，电气设备就是生产设备。在科学技术高度发达的今天，电气化已经和机械化、自动化等现代生产技术发生了密切的联系。电气装备自动化的程度，往往是生产自动化的重要标志。人们谈到电气装备总是指自动化的电气装备，而电气装备技术中总要包括自动控制技术。电气装备技术，已经是现代工程技术人员不可缺少的技术基础。不了解电气装备的原理和技术，常常给掌握各种生产技术带来困难。因此，许多中等专业学校都设有电工学和电气装备课程，把掌握电工技术作为培养工程技术人员的一项重要任务。

人类社会是在近几十年内才开始电气化的生产的。电气化的生产大大提高了劳动生产率，加快了生产速度，提高了产品质量，促进了自动控制的发展，实现了某些人力不能控制的生产过程。所以，电气化把人类生产活动引入了高级阶段。电气化是现代生产技术飞速发展中的重要成就之一。

和所有的科学技术一样，在不同社会制度下，电气装备技术的发展、利用及其后果是迥然不同的。在社会主义制度下，消灭了阶级剥削和阶级压迫，因此，发展非常迅速。它用来服务于国内和平建设，用来征服自然界，以促进工农业的发展，劳动条件的改善，从而满足人民日益增长的生活需要。

旧中国是一个半封建半殖民地的国家，各种工业十分落后，电气工业更是如此。那时仅仅在帝国主义开办的几个企业中具有较简单的自动控制电气装备；大部分工厂中所采用的，是一台电动机通过天轴传动带动全部生产机械。即使这些电气装备，也是从外国进口，本国不能独立生产。

然而，正如毛主席在1949年3月所预言：“中国的经济遗产是落后的，但是中国人民是勇敢而勤劳的，中国人民革命的胜利和人民共和国的建立，中国共产党的领导，加上世界各国工人阶级的援助，其中主要地是苏联的援助，中国经济建设的速度将不是很慢而可能是相当地快的，中国的兴盛是可以计日程功的。”*解放以后，我国电气工业飞跃的发展，证实了毛主席的伟大预言。

1958年以来，在党的社会主义建设总路线的光辉照耀下，我国电气工业发展速度十分惊人，不仅是旧中国所无法达到的，而且也是资本主义国家所望尘莫及的。在大跃进的年代里，随着产品产量、质量和品种的增长，技术水平也有了迅速的提高。

和全国的工业一样，建筑工业在飞速发展的过程中，也愈来愈多地利用新技术。电气装备正在建筑工业各方面，如建筑材料工业、建筑机械制造工业等方面，扩大其使用范围，

* 见“毛泽东选集”第四卷1434—1435页，人民出版社1960年9月北京第一版。

发挥着重要作用。

“建筑工业电气装备”是介绍建筑工业中电气装备知识的课程。它的基本内容如下：

1. 电力拖动原理：论述电动机拖动生产机械时的运动特性等知识；
2. 自动控制原理：讲解自动控制用基本元件的结构原理和常用自动控制系统的原理；
3. 建筑工业用各种生产机械自动化电气装备：研究上述原理在具体生产机械上的应用；
4. 供电与照明：介绍电能的生产过程、分配的方式方法和电气照明技术。

本课程内容和生产实际的联系很密切。在教学过程中，凡在学校教学条件内能进行的实验、参观、生产等活动，应当尽量结合教学进行；通过这些实践活动，可以使学生比较牢固地掌握技术知识。

电气装备为各种工业生产服务。从表面看，花样繁多，但基本道理都还相同或类似。在学习时，如果不抓住基本原理去掌握它，便会抓不住重点，形成罗列事物，堆积知识，造成不必要的困难。因此，教师讲述时，应着重说明基本原理和物理过程。在讲解基本原理时联系应用，在讲应用时指出基本原理。这样，就易为学生所接受。

第一篇 电力拖动基础

第一章 电动机的机械特性

第一节 机械特性的概念

电动机转速 n (转/分) 和其转矩 M (公斤·米) 间的关系:

$$n = f(M)$$

叫做电动机的机械特性。电动机的机械特性一方面和电机本身的构造有关系, 另一方面还和电机电路的参数(如电阻、电压等)和接法有关系。在 I 与 M 成正比的条件下, 有时也称 $n = f(I)$ 为机械特性。

电动机机械特性曲线的变化率, 即转矩对转速的变化比:

$$\alpha = \left| \frac{\Delta M}{\Delta n} \right|$$

称为特性的硬度。按其硬度大小, 电动机的机械特性可分为三种:

1. 绝对硬特性: 速度不随转矩变化而为一恒值, 这种特性的 $\alpha = \infty$ 。同步电动机就具有这种特性。

2. 硬特性: 速度随转矩变化而变化, 但改变不大。其 $\alpha = 40 \sim$ 。他激和并激直流电动机的特性, 感应电动机机械特性的工作部分具有这种特性。

3. 软特性: 速度随转矩变化而剧烈变化, α 在 10 以下。串激电动机的特性具有这种特性。

电动机的机械特性表明它适于拖动何种机械。生产机械的阻力矩和其工作速度的关系称为该机械的机械特性。在升降重物的机械, 克服摩擦力做功的机械(如起重机、卷扬机、机床等)中, 阻力矩往往与工作速度无关而为一定值, 有的机械的阻力矩和速度成正比, 有的机械其阻力矩和速度平方成正比。电动机拖动生产机械时所表现的工作特性, 由这两种机械特性的复合特性决定。本章就研究直、交流电动机的机械特性。

第二节 他激电动机的机械特性

他激电动机的电路如图 1-1 所示, 其激磁电路与电枢电路分别由单独的电源供给。

下面我们推导它的机械特性方程式。

令 U ——电枢端电压; E ——电枢反电势;
 I_a ——电枢电流; R_a ——电枢电阻; R_f ——电枢电路附加电阻; ϕ ——电机磁通; n ——电机转速;
 M ——电机转矩; C_e ——电机反电势系数; C_m ——

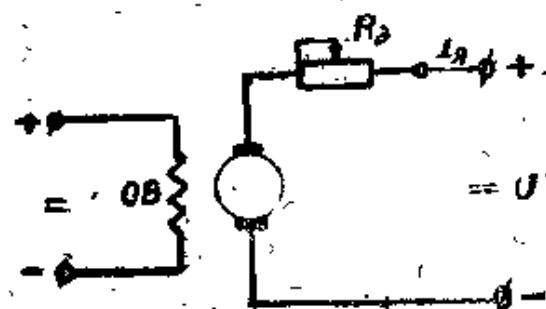


图 1-1 他激直流电动机电路

电机的转矩系数。 C_e 、 C_m 都是由电机构造决定的常数，一般 $C_e \approx 1.03 C_m$ 。

由电机学原理，我们知道：

$$U = E + I_a(R_a + R_s) \quad (1-1)$$

$$E = C_e \phi n \quad (1-2)$$

$$M = C_m \phi I_a \quad (1-3)$$

将(1-2)代入(1-1)整理后可得：

$$n = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{R_a + R_s}{C_e \phi} I_a \quad (1-4)$$

这是用 I 表示的机械特性方程式。将(1-3)代入(1-4)式整理后得出用 M 表示的机械特性方程式：

$$n = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{R_a + R_s}{C_m C_e \phi^2} M \quad (1-5)$$

研究(1-5)式可见，在 U 、 ϕ 和 R 一定时，若 $M=0$ 即电机没有任何负载，电机速度则为：

$$n_0 = \frac{U}{C_e \phi} \quad (1-6)$$

此速度称为理想空载速度。

随着负载的增加， M 逐渐增大，(1-5)式右端第二项随之正比地增加，使电机速度 n 直线下降，速度下降值

$$\Delta n = \frac{R_a + R_s}{C_m C_e \phi^2} M \quad (1-7)$$

称为速度降。这时的机械特性如图1-2曲线1所示，

是一条下斜的直线。利用(1-6)、(1-7)式机械特性方程式可写为：

$$n = n_0 - \Delta n \quad (1-8)$$

一般在额定转矩时 $\Delta n = 5\% - 10\% n_0$ 。

又，在 M 值一定的条件下， R_s 愈大， Δn 愈大， n 愈小。所以不同的 R_s 对应若干条下降斜度不同的机械特性，如图1-2曲线2、3所示。很明显， R_s 愈大，特性愈软。这个特性告诉我们，可以用改变 R_s 的方法调整电机转速。 $R_s=0$ 时的机械特性称为自然特性，此外的特性叫人工特性。

为了加深印象，下面说明上述关系的物理过程。

电机在稳定运转状态里，永远要维持电势平衡关系(1-2式)和转矩平衡关系。

理想空载时，电机轴上没有任何阻力矩作用，在电压 U 的作用下起动以后，服从动者恒动的法则，维持起动后的状态不需要任何能量补充，电枢电流为零，电枢反电势和电枢端电压相等，即：

$$U = E = C_e \phi n_0$$

理想空载转速就是使电枢反电势和外加电压相等时的速度。

有负载时，负载转矩使电机速度下降，反电势下降 $U > E$ ，于是有电流 I 自电源流入，使电机产生相应的转矩和负载转矩平衡。在二者平衡时，速度不再下降，保持稳定运

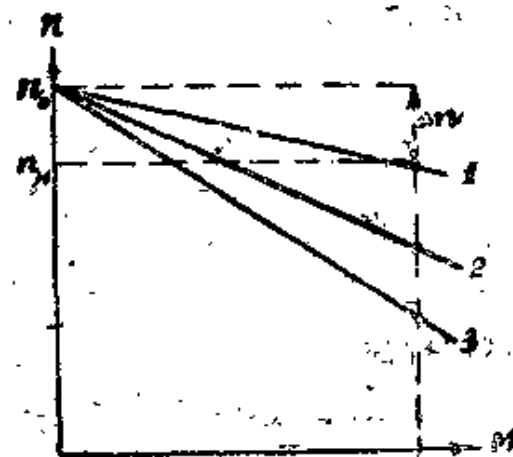


图 1-2 他激电动机的机械特性曲线

轉, 此时

$$U = E + I_a(R_a + R_d)$$

在負載減小時, 开始电机轉矩大于負載轉矩, 使电机加速, 于是 E 增大, I_a 减小, M 减小, 当 M 与負載轉矩平衡时, 速度不再上升, 在新的速度上保持稳定運轉。

在負載轉矩不变时, 变化 R_d , 例如使它减小, 由于电樞电路电阻电压降减小, 增大了电樞电流 I_a , 使轉速增加。隨轉速的增加, 反电势增加, 又使电流减小, 当电流減至原来值时, 重新达到稳定, 但这已是在新的速度上稳定運轉了。这就是 R_d 的調速作用。

第三节 电动机的制动状态

上一节讲的都是电动机的电动状态, 这时电动机带动工作机械运动, 其轉矩方向与旋轉电机方向相同, 电动机将电网电能轉化为机械能, 电势平衡关系如图1-3甲所示。

除电动状态外, 电动机在拖动生产机械时, 还常常处于制动状态。所謂制动状态, 就是电动机轉矩和其实轉动方向相反的状态。制动可以用来使生产机械迅速停止, 也可以用来限制位能負載的运动速度。例如在重物下降或列車下坡时, 限制下降和下坡的速度。制动状态还在电动机速度变化的过程中出現。

电动机有三种制动状态:

1. 反接制动;
2. 发电制动 (亦称再生制动);
3. 能耗制动。

反接状态在下列情况下出現:

电动机拖动位能負載下降, 如果电机轉矩方向为上升, 而且开始时电机轉矩又小于位能負載轉矩, 电机被后者拖动向負載轉矩方向旋轉时出現。

改变旋轉电机电樞或激磁繞組端电压极性, 使之反向时, 在电压自原速減至 $\omega = 0$ 的过程中也出現反接状态。

在第一种情况下, 大于电机轉矩 M_d 的負載轉矩 M_c , 将使电机反方向旋轉, 同时反电势 E 也反向, 与外加电压 U 同向, 在 $U + E$ 的作用下, 电流大大增加, 使电机轉矩增大。在电机轉矩未与負載轉矩平衡以前轉速 ω , 反电势 E 和电樞电流 I_a 不断上升, 直到二者平衡时为止 (参看图1-4乙)。这时的運轉状态, 便是反接状态。反接状态时电机轉矩和旋轉方向相反, 电动机起制动作用, 使負載在自身位能力矩的作用下, 不致有愈来愈大的速度, 而是在一定速度上稳定下降。在稳定状态上, 电路中的电势平衡关系如图1-3乙所示:

$$U + E = I_a(R_a + R_d) \quad (1-9)$$

电樞电流

$$I_a = \frac{U + E}{R_a + R_d}$$

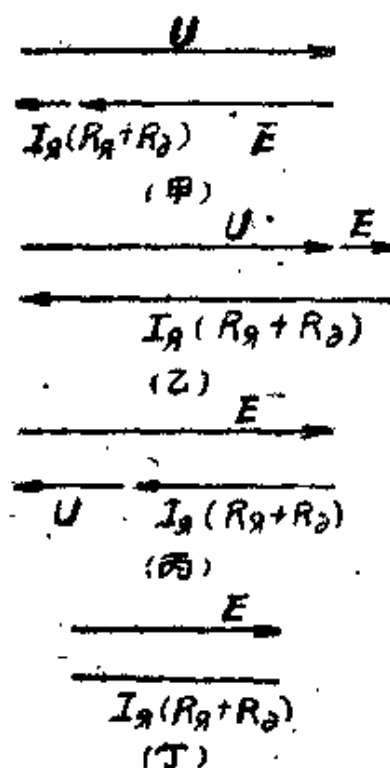


图 1-3 电动机在各种運轉状态时的向量图

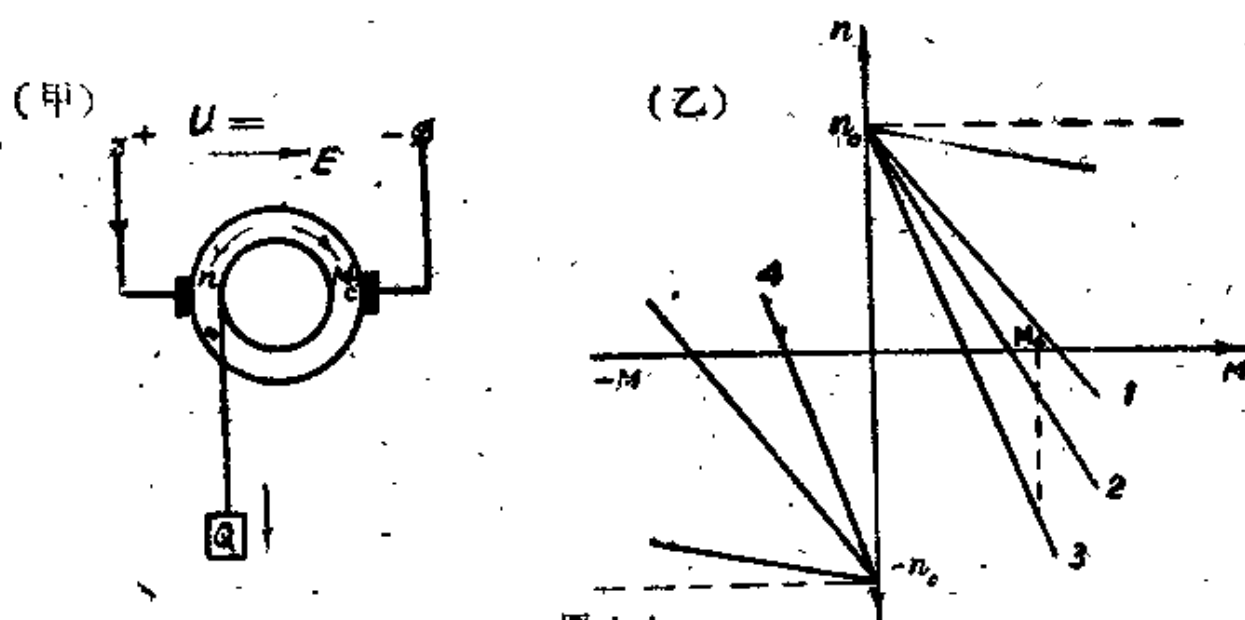


图 1-4

甲—电动机的反接特性；乙—电动机的反接状态

由 I_a 的公式可见，为了避免 I_a 过大，应当在电路中加入较大的附加电阻 R_d 。将 1-9 式两端乘以电枢电流 I_a 时：

$$UI_a + EI_a = I_a^2 (R_a + R_d)$$

应当说明，反接运转时的能量关系是电源供出一部分电功率 UI ，位能负载的位能也变成了电功率 EI ，这两部分电功率全消耗在电枢电阻 R_a 与 R_d 上了。

反接过程的机械特性方程式，可由公式 (1-9) 导出：

$$-n = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{(R_a + R_d)}{C_e \phi} I_a$$

这实际上是 (1-4) 式在下列情况下的必然结果：

$$\frac{U}{C_e \phi} < \frac{R_a + R_d}{C_e \phi} I_a$$

所以，反接状态的机械特性是第一象限和第三象限的电动机特性在第四象限和第二象限的延长，如图 1-4 甲所示。占有一、四象限的特性和占有三、二象限特性间的差别只是

表明电机运转时电枢电压极性的不同。图中曲线 1、2、3 是不同 R_d 时的反接特性，在同一负载转矩作用下，不同的 R_d 对应不同的制动运转速度。

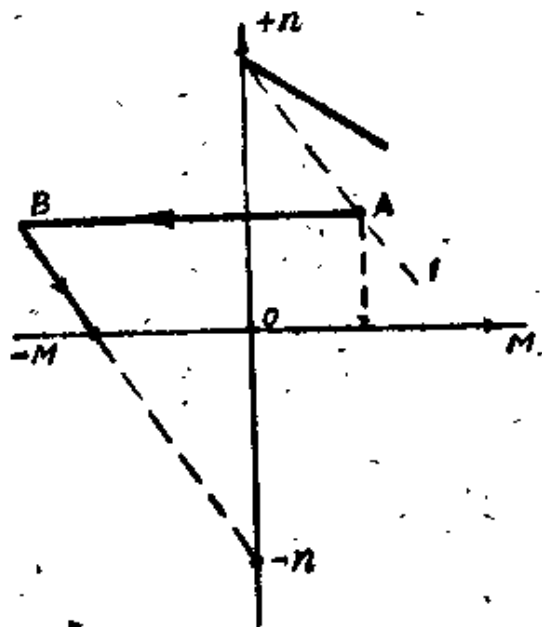


图 1-5 电源极性改变时的反接特性

第二种情况的物理原理与第一种情况相同，只是出现的过程不同。图 1-5 的实线表明了这个过程。电枢电压极性突然改变的瞬间，电机速度仍然维持原来状态，但外加电压方向反了与电枢反电势方向相同，于是电枢电流 I_a 反向，产生一个克服电机系统惰性的反转矩，使速度迅速下降。这在图 1-5 上，表示电动机由与极性未改变前状态相对应的特性 1 的 A 点，沿平行于横轴的直线跳跃到与极性改变后的状态相对应的特性 2 的 B 点上，并沿特性 2 下降，当 $n = 0$ 时，反接过程结束，如果仍不切断电源，电机将反向起动。

在电动状态运转的电动机受外力作用顺向加速，使其速度超过理想空载转速 n_0 时，则出现发电制动状态。例如在电动机由高处

速,以至超过 n_0 而进入发电制动状态。这时,当 $n = n_0$ 时 $E = U, I_a = 0$,没有电机转矩。当 $n > n_0$ 时, $E > U$,由 $E - U$ 的作用电动机将对供电电网回输电流,此电流方向与原来电动状态时的方向相反,而与反电势方向相同。由它产生的电动转矩阻碍电机继续加速,起制动作用,在电机制动转矩与外力产生的转矩平衡时,电机停止加速,而在某一大于 n_0 的速度上稳定运转,这种状态便是发电制动状态。

这时,回路中的电势平衡方程式为:

$$E - U = I_a(R_s + R_d)(E > U) \quad (1-10)$$

其关系如图1-3丙所示。将(1-10)式两端乘以 I_a ,可得出此时的功率平衡关系:

$$I_a E - I_a U = I_a^2(R_s + R_d)$$

就是说外力作用使电机产生的电功率 $I_a E$,一部分 $[I_a^2(R_s + R_d)]$ 消耗于电枢回路电阻中,变为热量,另一部分 (UI_a) 反馈给电网。

由(1-10)式可以导出发电状态的机械特性方程式为:

$$n = \frac{U}{C_e \phi} + \frac{R_s + R_d}{C_e \phi} I_a$$

实质上和方程式(1-4)是一个,后者在 I_a 为负值时即是本式。所以它所表示的特性是一条电动运转机械特性在第二象限的延长线,如图1-6所示。

所谓耗能制动,是将电动机电枢电路自电源断开,通过电阻器接成闭合电路时出现的状态(看图1-7甲),这时,如果电枢由于位能负载下降,或由于电力拖动系统的惯性而旋转时,电枢将产生电势 E ,并在电路中产生电流:

$$I_a = \frac{E}{R_s + R_d} \quad (1-11)$$

这个电流产生的转矩和发电机中的电流作用同样对外力产生反抗运动的转矩,起制动作用,使电机保持某一转速或使电机停止旋转。

由(1-11)式可以导出,耗能制动状态的特性方程式为:

$$n = -\frac{(R_s + R_d)}{C_e \phi} I_a$$

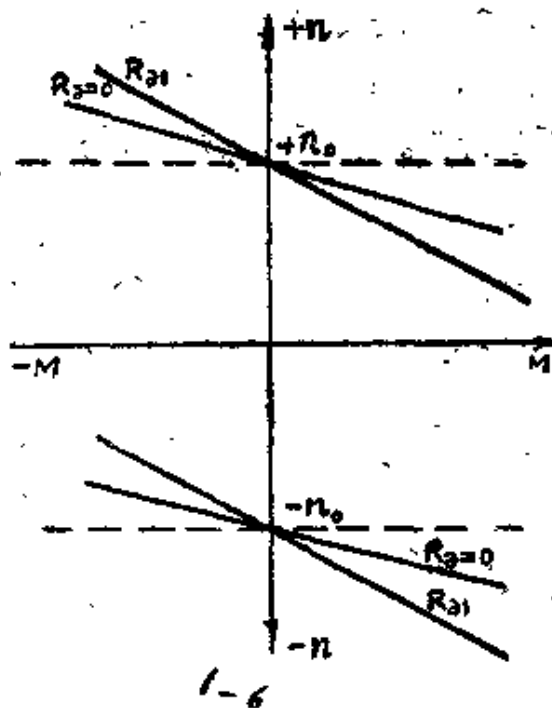


图 1-6 电动机的发电制动特性

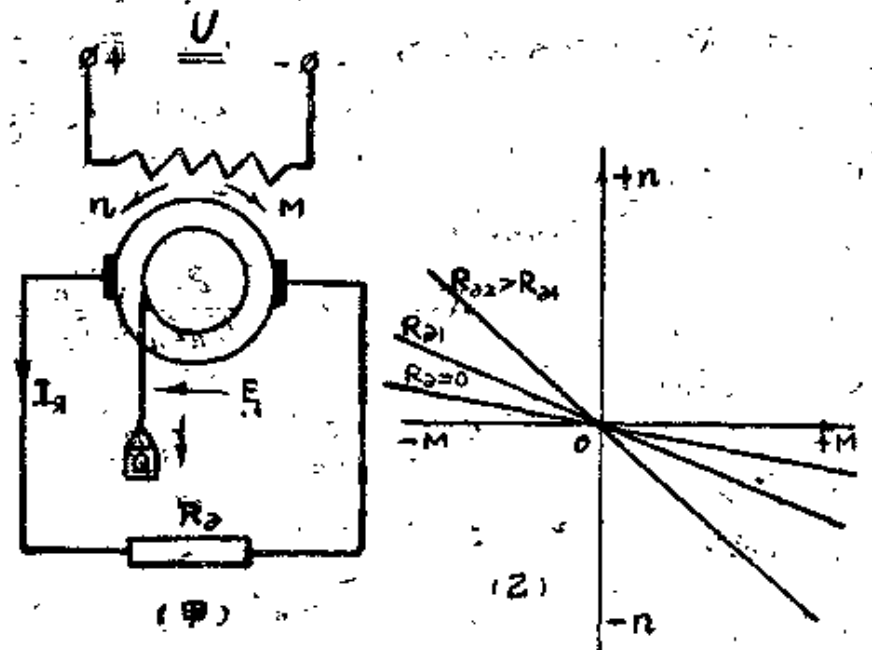


图 1-7 电动机耗能制动线路与特性

实质上,乃是(1-4)式在 $U \neq 0$ 时的一个特殊形式。它的特性曲线是第二、四象限内一些斜率为:

$$\frac{R_a + R_g}{C_e \phi}$$

的若干条通过原点的直线,如图1-7乙所示。 R_g 愈大,斜率愈大。

反接、发电、耗能三种状态都具有制动作用,但各有其特点。下表是它们优缺点的比較表。

比較内容 制动方式	适用范围	优点	缺点
发电制动	不能用来制动停车,只能用来限制位能负载的自由运转速度	1. 可以由电动状态自动过渡到发电制动状态 2. 经济——向电源回馈电能	1. 不能在 $n < n_0$ 的条件下实现制动
反接制动	可以用来限制位能负载的自由运转速度,也可以用来停车,但在停车后必须切断电源,否则会反向启动	1. 在任何速度下都可进行制动 2. 低速时的制动能力也很强,在 $n=0$ 时也具有一定制动力矩	1. 能自动反向,制动前后要变换接线 2. 电能损失大 3. 由于实用上电路电路中要加较大的 R_g ,所以特性曲线陡度大
耗能制动	可以用来限制位能负载的自由运转速度;也可以用来停车而且不会动反向	1. 经济——消耗电能小 2. 可以获得陡度小的特性 3. 接线比较简单	1. 制动效果随速度的减低而减小 2. 制动前后需要变换接线

第四节 他激电动机机械特性的繪制法

計算和分析自动电力拖动系统时,常常需要知道电动机的机械特性,本节讲述这种机械特性的繪制方法。

根据第二节讲的内容,我們可以很容易地繪出已知銘牌数据的他激电动机机械特性。銘牌数据可以告訴我們四个数值:

U_n ——額定电压; I_n ——額定电流; P_n ——額定功率; n_n ——額定速度。

由于他激机特性是直线,只要找出线上两点便可确定整个曲线。所以在繪制自然特性时,只要确定 n_0 和 n_n 两个点即可。 $I = I_n$ 时, $n = n_n$ 这一点不必計算。計算 n_0 值的步骤如下:

1. 利用經驗公式求 R_a

$$R_a = 0.5 \left(1 - \frac{P_n}{U_n I_n} \right) \frac{U_n}{I_n} = 0.5 (1 - \eta_n) R_n \quad (1-12)$$

2. 求 $C_e \phi$

$$C_e \phi = \frac{U_n - I_n R_a}{n_n}$$

3. 求 n_0

$$n_0 = \frac{U_n}{C_e \phi}$$

电路电路中有附加电阻 R_g 时的人工特性,可依据 n_0 和特性上另一点繪出。另外一点用

下式确定:

$$n = n_0 - \frac{R_a + R_d}{C_e \phi} I_a = n_0 \left(1 - \frac{R_a + R_d}{U_n} I_a \right)$$

这样获得的机械特性是 n 和 I_a 的关系, 利用

$$M = C_m \phi I_a, \quad C_m \phi = \frac{C_e \phi}{1.03}$$

的关系, 即可换算出 n 和转矩 M 的关系。下边用一个计算实例来具体说明机械特性的绘制法。

[例1-1] 已知Z-100型他激直流电动机的铭牌数据为:

$P_n = 15$ 千瓦; $U_n = 220$ 伏; $I_n = 81.5$ 安; $n_n = 1600$ 转/分。

要求绘出它的自然特性和 $R_{d1} = 0.62$ 欧, $R_{d2} = 1.24$ 欧时的人工特性。

[解] $\eta_n = \frac{P_n}{U_n I_n} = \frac{1000 \times 15}{220 \times 81.5} = 0.837$

电枢电阻

$$R_a = 0.5(1 - \eta_n) \frac{U_n}{I_n} = 0.5(1 - 0.837) \times \frac{220}{81.5} = 0.22 \text{ 欧}$$

理想空载转速

$$n_0 = \frac{U_n}{C_e \phi} = n_n \frac{U_n}{U_n - I_n R_a} = 1600 \frac{220}{220 - 81.5 \times 0.22} = 1740 \text{ 转/分}$$

当 $R_{d1} = 0.62$ 欧时, 对应 I_n 的速度

$$\begin{aligned} n_{u1} &= n_0 \left[1 - \frac{I_n (R_a + R_{d1})}{U_n} \right] \\ &= 1740 \left[1 - \frac{81.5(0.22 + 0.62)}{220} \right] \approx 1200 \text{ 转/分} \end{aligned}$$

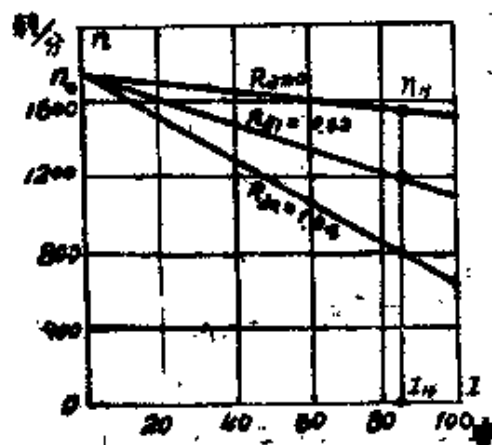
当 $R_{d2} = 1.24$ 欧时, 对应 I_n 的速度

$$n_{u2} = 1740 \left[1 - \frac{81.5(0.22 + 1.24)}{220} \right] \approx 800 \text{ 转/分}$$

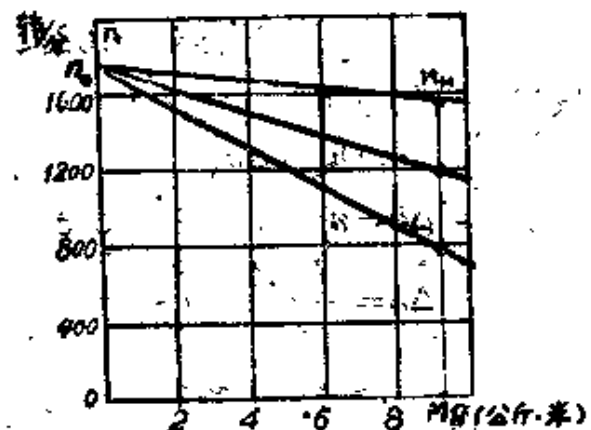
和 I_n 对应的额定转矩 M_n , 可直接用下式计算:

$$M_n = \frac{975 P_n}{n_n} = \frac{975 \times 15}{1600} = 9.15 \text{ 公斤·米}$$

由上列数据可画出如图1-8甲、乙的特性。



(甲)



(乙)

图 1-8

甲—他激电动机的机械特性 $n = f(I)$; 乙— $n = f(M)$

[例1-2] 已知他激电动机的: $P_n = 35$ 千瓦,

$U_n = 220$ 伏, $I_n = 185$ 安, $n_n = 575$ 转/分, 试求:

1. 电动机在反接制动状态下下降重物;

2. 电动机在发电制动状态下下降重物时, 如果要求转速都是 725 转/分; 重物作用在电机轴上的转矩都等于电动机额定转矩的 80%, 各应当接入多少外加电阻?

[解]

$$\eta_n = \frac{P_n}{U_n I_n} = \frac{1000 \times 35}{220 \times 185} = 0.86$$

电枢电阻

$$R_a = 0.5(1 - \eta_n) \frac{U_n}{I_n} = 0.5(1 - 0.86) \times \frac{220}{185} \approx 0.084 \text{ 欧}$$

电机额定转矩

$$M_n = \frac{975 P_n}{n_n} = \frac{975 \times 35}{575} = 59.5 \text{ 公斤} \cdot \text{米}$$

和负载作用在电机轴上的静转矩 $M_c = 0.8 M_n$ 相对应的电流, 按电流和转矩成正比的关系:

$$I_c = I_n \frac{M_c}{M_n} = 185 \times \frac{0.8 M_n}{M_n} = 148 \text{ 安}$$

理想空载转速:

$$n_0 = n_n \frac{U_n}{U_n - I_n R_a} = 575 \times \frac{220}{220 - 185 \times 0.084} = 618 \text{ 转/分}$$

电势系数:

$$C_e \phi = \frac{U_n - I_n R_a}{n_n} = \frac{220 - 185 \times 0.084}{575} = 0.373$$

计算重物下降时, 电枢电路应当接入的附加电阻。

1. 在反接制动状态下:

$$n = n_0 - \Delta n$$

$$\Delta n = n_0 + n = 618 + 725 = 1343 \text{ 转/分}$$

$$\Delta n = \frac{I_c (R_a + R_d)}{C_e \phi} = \frac{148(0.084 + R_d)}{0.373} = 1343 \text{ 转/分}$$

$$R_d = \frac{1343 \times 0.373}{148} - 0.084$$

$$= 3.385 - 0.084 = 3.301 \text{ 欧}$$

2. 在发电制动状态下:

$$n = n_0 + \Delta n$$

$$\Delta n = n - n_0 = 725 - 618 = 107 \text{ 转/分}$$

$$\Delta n = \frac{I_c (R_a + R_d)}{C_e \phi} = \frac{148(0.084 + R_d)}{0.373} = 107$$

$$R_d' = \frac{107 \times 0.373}{148} - 0.084 = 0.269 - 0.084 = 0.185$$

第五节 串激电动机机械特性

串激机的电路如图1-9所示，激磁绕组与电枢串联。从基本关系上看，直流机的特性都可利用他激机的公式。串激机和他激机不同之点是磁通 ϕ 不是定值，而是随负载电流 I_a 变化。 $\phi = f(I_a)$ 就是电机磁路的磁化曲线，它不能用一个数学公式来表达，所以不能靠列出一个方程式来计算机械特性，只能靠实验来测定其自然特性，串激机的机械特性均载明于工厂的产品说明中，其大致形状如图1-10所示。

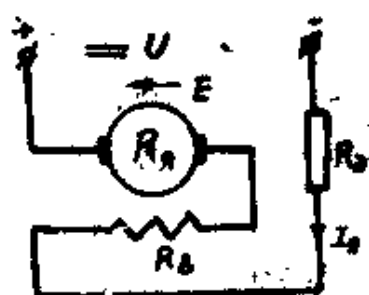


图 1-9 串激机电路图

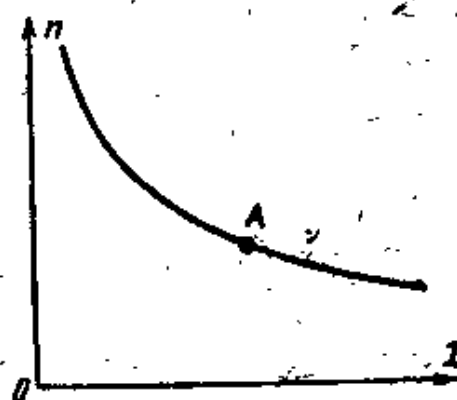


图 1-10 串激机的自然特性

我国与苏联等国家出产的电动机全是按系列设计和生产的，就是说同一系列产品的基本设计数据完全相同。因此，同一系列电动机的机械特性，如果用 $\frac{I}{I_n}$ 、 $\frac{M}{M_n}$ 、 $\frac{n}{n_n}$ 等相对值做坐标画出，几乎互相重合，这就使我们可以把一条近似的曲线当做该系列全部电动机的特性曲线，这条曲线叫做电动机的万用特性曲线。产品说明中给出的万用特性曲线，是两条，即：

$$n = f(I), \quad M = f(I)$$

有了它，经过换算后就可以绘出具体电动机的机械特性。

〔例1-3〕ZJD-42型串激电动机的 $P_n = 16$ 千瓦， $U_n = 440$ 伏， $I_n = 44$ 安， $n_n = 630$ 转/分，已知其万用特性如下图和下表，试求出其自然特性数据。

$I(\%)$	30	70	100	140	180
$n(\%)$	178	113	100	90	82
$M(\%)$	18	62	100	159	215

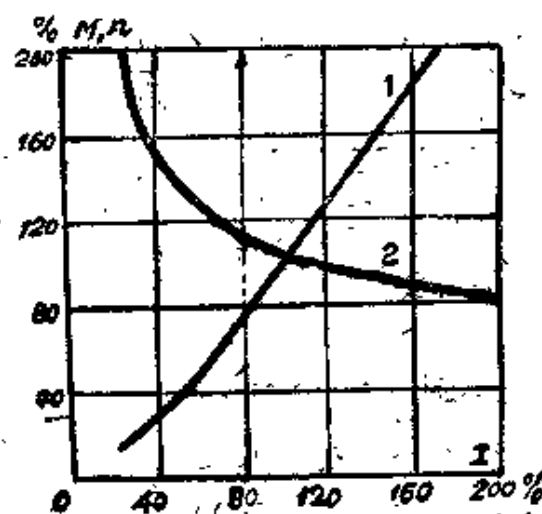


图 1-11 串激电动机万用特性曲线

〔解〕

$$M_n = \frac{975 P_n}{n_n} = \frac{975 \times 16}{630} = 24.8 \text{ 公斤} \cdot \text{米}$$

于是由 I_n 、 n_n 和 M_n 值可以算出自然特性数据如下表所示:

下面我们分析串激机特性曲线的特点。

先看 $n=f(I)$ 的关系: 由公式(1-4)可以推出, 如果令 R_s 表示串激磁绕组的电阻(它大约等于 $0.5R_a$), 则在串激机中:

$$n = \frac{U - I(R_a + R_s + R_o)}{C_e \phi} \quad (1-13)$$

$I\%$	30	70	100	140	180
I 安	13.2	30.8	44	61.6	79.2
$n\%$	173	113	100	90	82
n 转/分	1090	712	630	567	515
$M\%$	18	62	100	159	215
M 公斤·米	4.47	15.4	24.8	39.4	53.3

他激机的 n 随 I 的增大而减小, 是由于 $I(R_a + R_s)$ 项增大所致, 在串激机中, 当 I_n 增加时, 不仅 $I(R_a + R_s + R_o)$ 项增大, $C_e \phi$ 也随之增大, 这两项都会使 n 值减小, 所以速度变化较大, 属于软特性。

当电流 I_n 减小, 向零趋近时, ϕ 也向零趋近, n 则趋向无穷大。所以串激机特性与纵轴无交点。负载减小时, 速度会迅速增大以致超过安全转速, 造成事故, 这在使用串激机时必须注意, 一般不允许在串激机和工作机械间使用皮带传动, 便是为了避免一旦皮带断裂造成这种事故。

在负载电流 I_n 增大到一定程度后(一般为 $I_n > I_n$ 时), 磁路饱和, 磁通不再随 I_n 变化, 这时 $n=f(I)$ 的关系便和他激机相似为一直线关系, 图1-10中A点右侧的曲线部分便是这种情况。

再看 $I=f(M)$ 的关系。由 $M=C_e \phi I_n$ 的关系可以推论出:

1. 在磁化曲线直线部分, M 与 I_n 平方成正比;
2. 在磁化曲线饱和部分, M 与 I_n 成正比;
3. 在磁化曲线弯曲部分, M 与 I_n 之关系是平方与正比间的过渡关系。

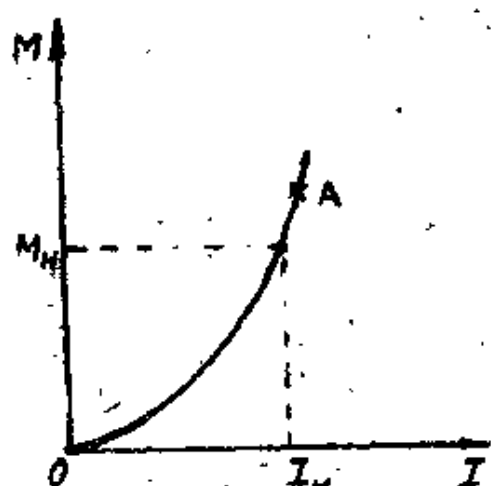


图 1-12 串激机的 $I=f(M)$ 关系图

实际情况如图1-12所示, 图中A点右侧是饱和部分。由这个情况可见, 磁路未饱和前在电流变化倍数相同时, 串激机转矩的变化要较他激机为大。

和他激机的情况一样, 在不同 R_o 时, 串激机具有不同的人工特性, 如图1-12所示。已知自然特性曲线后, 便可以绘制不同 R_o 时的人工特性。绘制特性的方法主要根据下列两个结论:

1. 一定 I_n 值对应一定的 $C_e \phi$
2. 一定 $C_e \phi$ 和 I_n 所对应的速度

$$n = \frac{U - I(R_a + R_s + R_o)}{C_e \phi}$$

下面用实例来说明绘制法。我们计算例1-3所给的电机在 $R_o=2$ 欧时的人工特性。首先根据自然特性找出一定 I_n 值所对应的 $C_e \phi$, 这可以利用公式(1-13):

$$\begin{aligned} C_e \phi &= \frac{U_n - I_n(R_a + R_o)}{n_n} \quad \text{由于 } R_s = 0.5(1 - \eta_n) \frac{U_n}{I_n} \\ &= 0.5(1 - 0.83) \times \frac{440}{44} = 0.85 \text{ 欧} \\ R_o &= 0.5R_s \approx 0.43 \text{ 欧} \end{aligned}$$