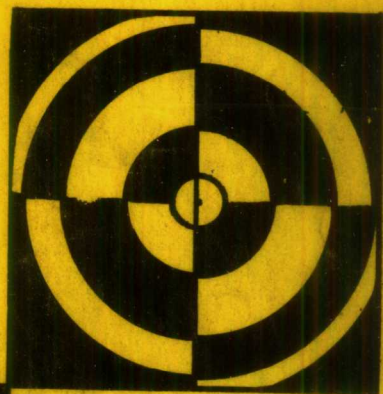


印染机械电气控制

陈效邦 编著



纺织工业出版社

印染机械电气控制

陈效邦 编著

内 容 提 要

本书在阐述交、直流电动机拖动原理的基础上,结合印染工艺设备特点选择典型机械,列举了12台80年代从国外引进的印染设备,对其电气控制原理、性能、调试方法及故障诊断等作了较详细的论述。

本书可供印染行业的电气技术人员及电工阅读,亦可作纺织院校有关专业的参考书。

特约编辑:李绍义

责任编辑:郑剑秋

印染机械电气控制

陈效邦 编著

*

纺织工业出版社出版

(北京东长安街12号)

纺织工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/16 印张:13 4/16 字数:312千字

1989年12月 第一版第一次印刷

印数:1—2,500 定价:6.70元

ISBN 7-5064-0331-5/TS·0325

前 言

80年代,我国从国外引进了大量的印染设备,这些设备大多代表了当时的世界先进水平。作者在消化吸收国外先进技术的基础上编写此书,以使广大读者能系统地学习掌握印染机械电气控制技术,促进我国印染工业的发展。

本书以分析引进设备的线路原理为基础,介绍各种控制系统的调试方法以及故障诊断技术。

由于线路分析必须应用自动控制原理,因此,本书第二章概要地介绍一些自动控制原理。使读者掌握系统分析的重要概念和方法——传递函数和频率特性。在阐述交、直流电动机拖动原理的基础上,结合工艺设备特点,选择典型机械进行分析。所选机械有下列特点:工艺上的典型性,即选择漂白、印花、染色、整理的主要生产机械;电气上的典型性,即选择各种拖动方式。例如代表世界先进水平的西门子公司小型化SCR装置,数字控制技术等。国外印染机械方面的先进技术,往往是将机械、电气、液压、气动等融为一体以适应工艺要求,其经济性和可靠性值得我们借鉴。为便利读者学习和消化引进技术,熟悉和掌握外国的电气图形符号,书中插图完全按引进设备原图绘制。

本书承蒙济南第二印染厂秦正昌副总工程师审阅,天津印染厂电气工段提供资料和帮助,天津36中杨伯凤老师缮写、校对,在此表示谢意。

由于收集的资料不够广泛,征求意见的面不宽,加之编者的水平有限,在内容上难免有欠妥、遗漏甚至错误之处,望读者指正。

编著者

1987年10月

封面设计：刘晓霞

ISBN7-5064-9731-5/TS·0325
定 价： 6.70 元

目 录

绪论.....	(1)
第一章 直流电动机拖动.....	(2)
第一节 概述.....	(2)
第二节 他激电动机的机械特性.....	(3)
第三节 他激电动机的起动、反转、制动和调速.....	(5)
第四节 串激电动机和复激电动机	(21)
第五节 各种直流电动机的比较及其应用范围	(25)
第六节 电力拖动的过渡过程	(26)
第二章 转速自动控制系统	(30)
第一节 开环控制系统与闭环控制系统	(30)
第二节 动态特性的基本分析方法	(32)
第三节 微分方程式的算子法及传递函数	(36)
第四节 伯德(Bode)图及其应用	(43)
第五节 单闭环调速系统	(49)
第六节 双闭环调速系统	(54)
一、转速、电流双闭环调速系统的静、动态品质.....	(54)
二、双闭环调速系统的动态抗扰性能.....	(55)
三、布里姆亨格(Briem-Hemgler)烧毛机.....	(56)
四、京都热定型机.....	(58)
第三章 直流电动机多单元同步拖动	(71)
第一节 概述	(71)
第二节 共电源晶闸管直流电动机同步拖动(SCR-D)	(75)
一、工作原理.....	(75)
二、京都丝光机.....	(82)
三、门富士(monforts)热定型机.....	(100)
第三节 分电源晶闸管直流电动机同步拖动.....	(117)
一、工作原理	(117)
二、奎斯特(Kusters)液下履带漂白机	(118)
第四节 “共一分”混合电源“调磁调压松紧架”直流电动机同步拖动.....	(123)
一、斯托克圆网印花机概况(RD-IV 型)	(123)
二、拖动系统原理	(125)

三、控制系统的特点	(127)
四、调试与测试	(128)
五、故障诊断	(130)
第五节 数字调速直流电动机同步拖动	(131)
一、数字调速的基本原理	(132)
二、门富士预缩机	(133)
第四章 交流电动机拖动	(143)
第一节 概述	(143)
第二节 异步电动机调速方式及应用场合	(143)
第三节 变极电动机	(144)
第四节 滑差电动机(VS 电动机)	(146)
第五节 PS 电动机	(149)
第六节 力矩电动机	(151)
第七节 BL 电动机(无整流子电动机)	(155)
第五章 交流电动机多单元同步拖动	(159)
第一节 滑差电动机同步拖动	(159)
一、工作原理	(159)
二、平野热风拉幅机	(161)
第二节 PS 电动机拖动	(165)
一、单相交流调压电路	(165)
二、三相交流调压电路	(168)
三、PS 电动机调速系统的组成	(172)
四、市金烘焙机	(173)
第三节 异步电动机变频调速同步拖动	(174)
一、变频调速的原理和特性	(175)
二、电流型“交-直-交”变频调速系统	(177)
三、涤纶长丝纺丝机变频调速拖动	(178)
第四节 电轴同步拖动	(184)
第五节 力矩电动机的应用	(190)
第六章 可逆运转拖动	(193)
第一节 可逆卷绕机构的调节特性	(193)
第二节 恒张力控制的基本原理和方法	(194)
第三节 京都叠卷式亚漂机	(196)
第四节 京都高温高压卷染机	(200)

结 论

印染生产是使织物由坯布变为印染布,它可分为漂白布、花布、色布等。这些产品的加工分别由练漂、印花、染色等工序来完成,而所有产品最后都需经过整理工序。通过这些工序,使织物获得所需要的物理和化学性质,以提高织物的使用价值。

从外形上看,印染机械无论体积、重量以及长度都较大,大多数印染机械都组成联合机,并排成流水线进行高速度连续化生产,因此对印染机械的电力拖动提出了较高的要求。在生产过程中任何一个单元机的电气控制部分发生故障,都会造成整个联合机停机,影响整个车间,甚至全厂的生产。新型的印染机械大多采用多单元分部拖动(它又称为多电动机同步拖动)方式,单元数往往达到二十多个。这样,对印染机械电力拖动的可靠性、经济性、调速范围、同步协调性能等就提出了更高的要求。

近年来由于电子技术的迅速发展,特别是晶闸管变频技术的发展,使电力拖动系统发生了巨大的变化。各种拖动方式犹如雨后春笋般地涌现。这种趋势必然影响到印染机械的电力拖动。虽然目前印染机仍以直流拖动为主,但交流拖动很可能后来居上。特别是与直流拖动性能指标接近的鼠笼电动机的变频调速系统,如果在经济性、可靠性、实用性方面有所突破的话,定会在印染机械上获得推广应用。其它如异步机调压调速系统也会在一定范围内得到应用。还有在印染机中已经采用的滑差电动机和整流子电动机,在一定时期内会继续被采用。因为它们简单、经济,容易掌握,在少单元印染机械上应用是适宜的,这在 80 年代引进的设备中也屡见不鲜。

直流拖动系统,随着印染机械的高速化、高效化、自动化,和电子技术的微型化、集成化、数字化,也在发生巨大的变化。目前印染机械的直流拖动系统将以分电源方式取代传统的共电源方式,以小型化 SCR 装置取代大型变流柜。在元件上,以微型电器取代常用电器;以光电器件取代机械装置;以集成电路取代分立元件;以数字电路取代模拟电路(即所谓模拟电路数字化)。同时,调速范围大($1:3000$)、调速精度高(0.05%)的数字调速系统已经出现,微型计算机在光电整纬装置(意大利 Biyanco 公司)上、在多参数自动调节的热定型机(联邦德国 Monforts 公司)上已得到应用。由此可见,人们对印染机械自动化程度低、调速范围小以及调速精度差的传统看法将会改变,新一代高度自动化、大调速范围、高精度、高效、高速的印染机械必将出现。

第一章 直流电动机拖动

第一节 概 述

直流电动机和交流电动机相比,其主要优点是速度调节范围宽广,而且平滑性、经济性较好;其次是它的起动转矩较大。这些性能对于印染机械的拖动是十分适宜的。因此,目前国内大部分印染机械采用直流电动机拖动。

但是,直流电动机也有它显著的缺点:一是制造工艺复杂,消耗有色金属较多,生产成本低;二是直流电动机在运行时由于电刷与换向器之间容易产生火花,因而运行可靠性较差,维护比较困难。因此,目前世界各国正致力于研究开发交流电动机拖动,其中以异步电动机的变频调速为主导,发展迅猛,是一种极有前途的拖动方式。

直流电动机按激磁方式不同,可分为他激电动机、并激电动机、串激电动机和复激电动机等四种。他激电动机和并激电动机本质上没有什么区别,因此在讨论机械特性时,将其一起讨论。

直流电动机在运行时,一部分能量损失在激磁电路的电阻上,另一部分能量则损失在电枢电路的电阻上,此外还有机械损失和铁损失,它们组成了电动机的空载损失。

由于直流电动机在运行中有各种损失,所以其效率为:

$$\eta = \frac{P_1 - P_2}{P_1} 100\% = (1 - \frac{P_2}{P_1}) 100\% \quad (1-1)$$

式中: P_1 —— 电动机的输入功率;

P_2 —— 总损失功率。

如将 P_2 分为空载损失 P_0 (把激磁损失并入 P_0 中) 和负载损失 I^2R , 则

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_2} 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + I^2R} 100\% \quad (1-2)$$

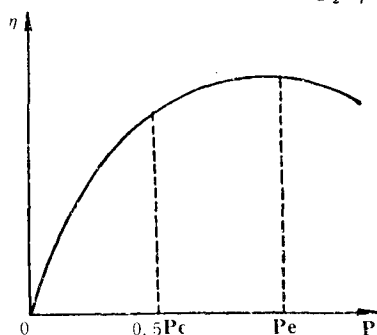


图 1-1 直流电动机效率曲线

式中: P_2 —— 电动机的输出功率;

I —— 电动机的电枢电流;

R —— 电动机的电枢电阻。

电动机在空载或轻载时,输入很小,即电枢电流 I 很小,负载损失 I^2R 与 P_0 比较可略去不计,总损失中主要是不变的空载损失 P_0 。由式 (1-2) 可知, η 随 P_2 的增加而增加,而且增加很快。随着负载的增加,电流 I 增加,负载损失随电流的平方成正比例增加,式中分母增大的速度加快,效率的增加比较慢。当负载增加到一定程度后,由于负载损失的迅速增加,使得分母增

加的速度超过分子增加的速度, η 则经过最大值而下降。各种类型的电动机, 效率曲线的形状大致相同, 如图 1-1 所示。

一般说来, 负载从空载到 $1/4$ 额定值, 效率上升较快; 到 $1/2$ 额定值时, 效率接近最大值; 从 $1/2$ 额定值到额定值, 效率几乎不变; 超过额定值以后, 效率反而下降。

电动机的效率还和电动机容量的大小有关系, 大容量的电动机效率在 $85\% \sim 95\%$ 的范围内, 中小容量的电动机效率在 $75\% \sim 85\%$ 范围内。

因此使用电动机时, 要合理选择其容量, 使之在满载下运行, 以充分发挥电动机的作用, 提高效率。

第二节 他激电动机的机械特性

在直流拖动中, 他激(或并激)电动机应用得比较广泛, 本节将对他激电动机的特性比较全面地进行分析。

表征电动机运行状态的两个主要物理量: 一是电动机的电磁转矩 M , 二是电动机的转速 n 。电动机的转速和转矩的关系称为电动机的机械特性。

电动机的机械特性, 又可分为自然机械特性和人工机械特性。

一、机械特性方程

他激电动机的接线如图 1-2 所示。

在很多情况下(例如起动和调速), 电枢电路串联接入一附加电阻 R_f , 这时电动机的电压方程为

$$U = E + I(R_a + R_f) = C_e \Phi n + IR \quad (1-3)$$

式中 R 为电枢电路总电阻, 它是电枢内电阻 R_a 与外接附加电阻 R_f 之和。因此, 求得电动机的转速为

$$n = \frac{U - IR}{C_e \Phi} = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{IR}{C_e \Phi} \quad (1-4)$$

电动机的电磁转矩计算式为

$$M = \frac{pN}{9.81 \times 2\pi\alpha} \Phi I = C_M \Phi I \quad (1-5)$$

式中转矩常数

$$C_M = \frac{pN}{9.81 \times 2\pi\alpha} \quad (1-6)$$

由式(1-5), 将 $I = \frac{M}{C_M \Phi}$ 代入式(1-4), 则得所求的机械特性方程

$$\begin{aligned} n &= \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{IR}{C_e \Phi} \\ &= \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{MR}{C_e C_M \Phi^2} = n_0 - \Delta n \end{aligned} \quad (1-7)$$

式中: $n_0 = \frac{U}{C_e \Phi}$; $\Delta n = \frac{IR}{C_e \Phi} = \frac{MR}{C_e C_M \Phi^2}$ 。

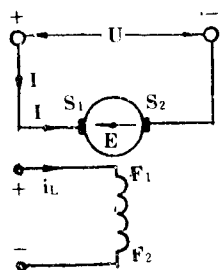


图 1-2 他激电动机的接线

n_0 为电动机的理想空载转速。实际上,由于有空载损失,电动机要输入一定的电枢电流,电磁转矩与空载转矩平衡,这样在电枢电路中引起电阻降,则电动机的反电势小于端电压,因而实际的空载转速要比理想的空载转速低。

Δn 是电动机在某一转矩 M 和电枢电路电阻为 R 时的转速降。它是由于电动机的负载电流在电枢电路产生电阻压降所造成的。负载越大, M 和 I 越大, 转速降越大。

二、自然机械特性

他激电动机的自然机械特性是在额定电压、额定磁通下,电枢电路没有外接电阻时,电动机转速与电磁转矩的关系。根据所给的条件: $U=U_e$, $\Phi=\Phi_e$ 和 $R_f=0$, 则可得到自然特性方程:

$$n = \frac{U_e}{C_e \Phi_e} - \frac{IR_a}{C_e \Phi_e} = \frac{U_e}{C_e \Phi_e} - \frac{MR_a}{C_e C_M \Phi_e^2} \quad (1-8)$$

式中: $n_0 = \frac{U_e}{C_e \Phi_e}$; $\Delta n = \frac{IR_a}{C_e \Phi_e} = \frac{MR_a}{C_e C_M \Phi_e^2}$ 。

下面介绍他激电动机自然机械特性曲线的变化规律。

按所给的条件, $U=U_e=\text{常数}$, 激磁电流 i_L 调节至磁通 $\Phi=\Phi_e$ 时, 保持不变。当负载增加时, 为了平衡负载转矩, 使电动机维持稳定转速, 电动机的电磁转矩也要增加, 随之电枢电流也相应增加。这时影响电动机转速的有两个因素: (1) 电枢的内电阻压降 IR_a , 使电动机转速下降; (2) 电枢反应的去磁作用, 使磁通略有减少, 因而使转速升高。

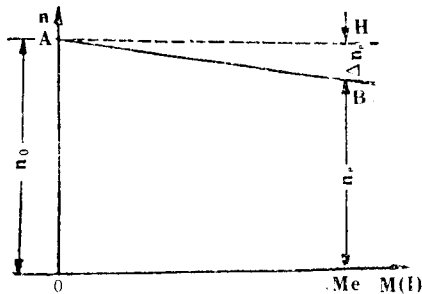


图 1-3 他激电动机自然机械特性
 M_e —额定电磁转矩

负载增加时, 电动机的转速是升高还是降低, 要看这两个因素哪一个占优势。一般情况, 电刷位置调整在几何中心线上, 电枢反应的附加去磁作用是比较小的, 电枢内电阻的压降较大, 因此他激电动机的转速随负载增加而稍有下降。

如果忽略电枢反应的附加去磁作用, $\Phi=\Phi_e=\text{常数}$, 式(1-8)所示的他激电动机的自然机械特性 $n=f(M)$ 的关系, 将是一条倾斜度很小的直线, 如图 1-3 所示。一般他激电动机由空载至额定负载, 其转速降 Δn_e 对额定转速 n_e 的百分比为 3%~8%, 所以他激电动机的自然机械特性属于硬特性。

对他激电动机来说, 由于 $\Phi=\text{常数}$, M 与 I 成正比例, 所以他激电动机的机械特性 $n=f(M)$ 和 $n=f(I)$ 的关系, 虽其横坐标比例不同, 但其形状相同, 所以 $n=f(I)$ 也称为机械特性曲线, 有时用它来代替 $n=f(M)$ 曲线。

三、人工机械特性

自然机械特性只反映电动机在正常运转条件下的性能, 即电动机在外加电压、磁通为额定值和电枢电路外接电阻为零时, 按照自然特性, 对应某一转矩下, 电动机只能运行在某一转速。但生产上往往提出更多的要求。例如叠卷亚漂机, 为了使织物在加工过程中保持平整不致起皱, 必须使织物保持一定的张力, 这样对上卷和退卷两电动机的机械特性提出了要求。机器在起动时, 上卷电动机处于小卷径、弱磁场运行状态, 并且又是双层进布, 起动负载力矩较大; 此

时退卷电动机则处于大卷径、强磁场运行状态,所以往往出现退卷快、上卷慢的情况,使起动过程中织物松弛。为了消除退卷快的现象,可在退卷电动机电枢电路中串入降压电阻。这样,退卷电动机就不是自然机械特性,而是经过人工改造的机械特性。

当 $U=U_e, \Phi=\Phi_e$, 电枢电路外接附加电阻时,机械特性方程为

$$n = \frac{U_e}{C_e \Phi_e} - \frac{IR}{C_e \Phi_e} = \frac{U_e}{C_e \Phi_e} - \frac{MR}{C_e C_M \Phi_e^2} = n_0 - \Delta n$$

式中 $R=R_a+R_f$ 。由上式可知电动机的理想空载转速与电枢电路电阻无关,所以它不随 R 而改变。但转速降 Δn 则与电枢电路电阻的大小成正比。当电枢电路接入的附加电阻增大时,在相同的转矩下,转速降将随之增大,即人工机械特性下倾的斜度增大,这说明电动机的特性变软。

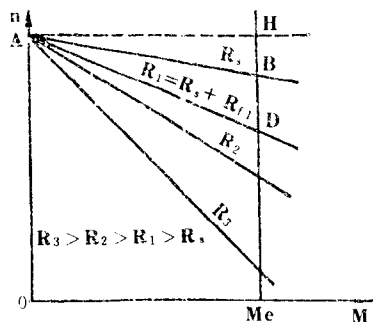


图 1-4 不同电枢电阻的人工特性

图 1-4 表示电动机电枢电路不同电阻值时的人工特性。已知自然特性,便很容易绘出电枢串联任一附加电阻 R_n 时的人工特性,因为串接 R_n 时, n_0 不变,人工特性仍然通过 A 点,在同一转矩 M_e 下,人工特性的转速降

$$\Delta n' = \frac{R_a + R_n}{R_a} \Delta n_e$$

在图 1-4 中取 $M=M_e$ 的直线,截取 $HD=\Delta n'$,得到人工特性的另一点 D,联 AD 即得所求的人工特性。

第三节 他激电动机的起动、反转、制动和调速

一、他激电动机的运动方程式

当电动机以恒转速运转时,其驱动转矩与静态转矩相平衡,即 $M=M_s$,驱动转矩和静态转矩的合成零,即 $M-M_s=0$ 。但是电动机的这种平衡状态是相对的,有条件的。当某种原因使 M 与 M_s 不等时,平衡状态就被破坏,转速则发生变动。例如 $M>M_s$ 时,电动机将加速运转。所以当 $(M-M_s)$ 不为零时,在电动机轴上会出现使电动机转速变化的动态转矩 M_{dt} 。它由下述公式决定,即

$$M - M_s = M_{dt} = J \cdot \alpha \quad (1-9)$$

式中 J 是所有旋转部分(电动机、传动部件和生产机械的旋转部分)的转动惯量; α 为旋转角加速度,它是旋转角速度 ω 的变化率,即

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

所以转矩平衡方程式可写成普遍形式

$$M = M_s + J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (1-10)$$

这说明电动机所产生的电磁转矩 M 在任何情况下都被轴上的静态转矩 M_s 和动态转矩 M_{dt} 所

平衡。通常将此式称为电力拖动系统的运动方程式。这个公式是分析电动机起动、制动、调速和负载变动等过渡过程的基础,应透彻理解和掌握。

当 $M > M_r$ 时, $M_{dt} > 0$, 即 $\frac{d\omega}{dt} > 0$, 电动机作加速运转, 将从电网吸收一部分电能变为旋转系统的动能, 使旋转系统的动能增加。当 $M < M_r$ 时, $M_{dt} < 0$, 即 $\frac{d\omega}{dt} < 0$, 电动机作减速运转, 旋转系统将放出动能, 使系统的动能减少; 当 $M = M_r$ 时, $M_{dt} = 0$, $\frac{d\omega}{dt} = 0$, 则电动机转速恒定, 旋转系统的动能保持一定, 既不放出, 也不吸收。

在电力拖动的理论研究和实际计算中, 往往不用转动惯量, 而用飞轮力矩 GD^2 来代替。从力学中已知转动惯量

$$J = m\rho^2 = \frac{G}{g} \cdot \frac{D^2}{4} = \frac{GD^2}{4g} \quad (1-11)$$

式中: m —— 旋转体的质量 ($\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}$);

ρ —— 旋转体的折算半径 (m);

G —— 旋转体的重量 (kg);

g —— 重力加速度 $= 9.81 \text{ m/s}^2$;

$D = 2\rho$ —— 旋转体的折算直径 (m)。

需要指出的是: GD^2 是代表物体旋转惯性的一个整体物理量, D 为旋转体的折算直径, 并非实际的直径。几何形状比较简单的物体的 GD^2 求法, 参看工程力学教材。电动机和生产机械的 GD^2 , 可由产品样本和有关设计资料中查出。

因为 $\omega = \frac{2\pi n}{60}$, 则 $\frac{d\omega}{dt} = \frac{2\pi}{60} \times \frac{dn}{dt}$, 这样, 运动方程式又可写成以下的形式

$$M - M_r = \frac{GD^2}{4g} \times \frac{2\pi}{60} \times \frac{dn}{dt} = \frac{GD^2}{4 \times 9.81} \times \frac{2\pi}{60} \times \frac{dn}{dt}$$

$$\text{整理得:} \quad M - M_r = \frac{GD^2}{375} \times \frac{dn}{dt} \quad (1-12)$$

式中转矩单位为 $\text{kgf} \cdot \text{m}$; GD^2 的单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ 。

电力拖动系统的运动状态主要决定于电动机的电磁转矩和负载转矩两者相互依赖而又相互制约的关系。只有分别研究了电动机和负载的机械特性, 才能掌握整个系统的运行特性。

需要指出的是, 电动机并不总是作为电动机状态运行, 在拖动系统中经常作为制动状态运行, 这时电动机的电磁转矩 M 的方向与旋转方向相反。因此, 在应用运动方程式时, 转矩的正负号是很重要的。通常把电动机的一个旋转方向当作是正的, 相反的旋转方向则当作是负的。电动机的电磁转矩 M 的作用方向如与电动机旋转正方向一致, 则 M 为正值, 反之为负值。

负载转矩由电动机拖动的生产机械所产生, 它决定于生产机械的机械特性。按负载转矩对运动所起的作用不同, 可分为反抗负载转矩和位能负载转矩。

1. 反抗负载转矩 它是由摩擦力产生的转矩, 不管运动方向如何, 始终是阻碍运动的。图 1-5 所示布铗丝光机的布铗部分, 铗子在轨道上的摩擦力总是与运动方向相反。负载转矩 M_L 的正负值规定与电磁转矩不同, 当它的作用方向与旋转方向相反时为正, 相同时为负。

2. 位能负载转矩 它是由物体的重力, 弹性物体的压缩力、张力和扭力所产生的转矩, 它们的作用力并不随方向的改变而改变。如图 1-6(a) 所示的起重机提升机构, 无论是提升或下

放重物,重力作用方向不变。在提升时,载荷的重力作用方向与运动方向相反,它是阻碍运动的;在下放时,载荷的重力方向与运动方向相同,变为促进运动的驱动转矩。在图 1-6(b)中画出位能转矩的特性,以提升方向为旋转方向,这时 M_{tz} 为正,当下放重物时, n 为负值, M_{tz} 方向不变仍为正值。

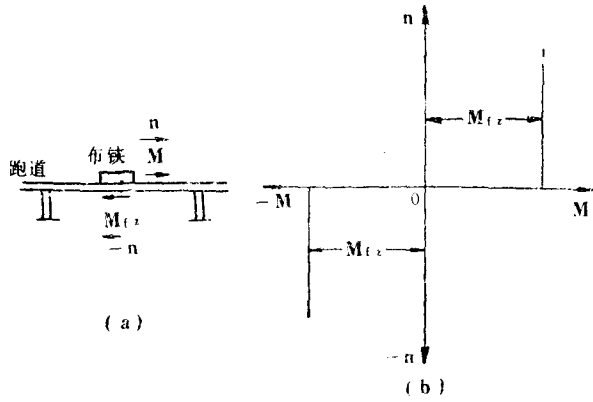


图 1-5 反抗转矩与旋转方向的关系
(a)示意图 (b)坐标表示

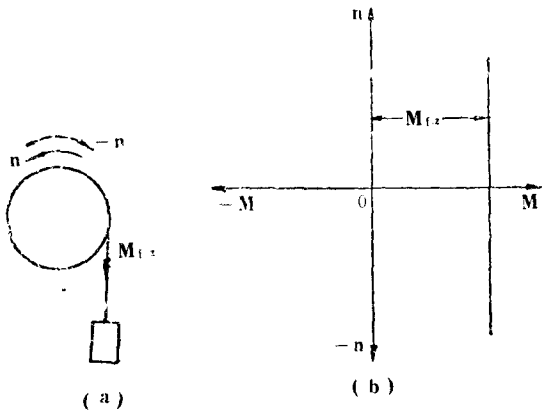


图 1-6 位能转矩与旋转方向的关系
(a)示意图 (b)坐标表示

负载转矩与转速的关系,有以下三种:(1)恒转矩负载特性,负载转矩的大小与转速变化无关,即 $M_{tz} = \text{常数}$,例如大部分印染机、起重机、卷扬机等;(2)通风机性质的负载特性,它的负载转矩和转速的平方成正比,即 $M_{tz} = kn^2$,属于这种类型的生产机械有离心式风机和水泵等;(3)恒功率负载特性,负载转矩与转速成反比,即 $P = KMn = \text{常数}$,例如卷染机和叠卷亚漂机。

现以实例分析电力拖动系统的运行情况。一台布铈丝光机由直流他激电动机拖动。开车时未喂入布,这时布铈单元拖动系统的负载转矩很小,因此作用在电动机轴上为系统的空载转

矩 M_1 , 它基本上与转速无关, 而近似恒转矩性质。这时布铰单元的机械特性如图 1-7 中的直线 1)。电动机的机械特性如图中的直线 3, 这时电动机的稳定工作点在两直线的交点 A 上。电动机的转矩 $M=M_1$, 转速 $n=n_A$ 。

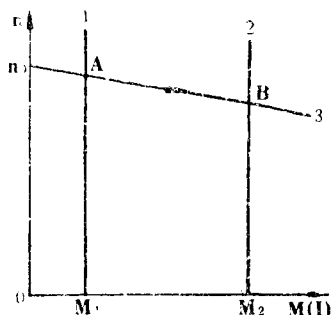


图 1-7 电动机和负载机械特性曲线

当喂入布后, 布铰单元的负载转矩显著增加, 系统的静态转矩 M_s 由 M_1 增至 M_2 , 如图中直线 2。在开始喂入布时, 由于系统的旋转惯性, 转速来不及改变, 在 n_A 的转速下, 电动机的电磁转矩 $M=M_1$, 将小于负载的静态转矩, 即 $M-M_s < 0$, 使系统的转速降低。

当电动机的转速下降时, 电动机的电动势 $E=C_e \Phi_m n$ 随转速成正比地下降, 电动机的电枢电流 $I=\frac{U_0-E}{R}$ 将随 E 减小而增大, 电动机的电磁转矩 $M=C_m \Phi_m I$ 则随电流 I 增加而增加。 $n(E)$ 及 $M(I)$ 的变化, 如图中箭头所示, 由 A 点沿直线 3 移向 B 点。当电动机转速下降到 $n=n_B$ 时, 电动机的转矩增至 $M=M_s=M_2$, 动态转矩为零, 电动机转速不再下降, 而稳定在新的工作点 B 上。

由于负载增加, 引起电动机转速、电动势、电流及转矩相应变化, 从而达到新的平衡。

二、他激电动机的起动

电动机的起动和制动特性是衡量电动机运行性能的一项重要指标。特别是某些印染机械, 如卷染机、叠卷亚漂机等, 在生产过程中经常进行正反转, 拖动这些生产机械的电动机需要频繁地起动和制动。因此, 了解电动机的起、制动特性很有必要。

1. 起动转矩和起动电流 电动机起动时应考虑以下问题: (1) 起动电流 I_q 的大小; (2) 起动转矩 M_q 的大小; (3) 起动时间的长短; (4) 起动过程是否平滑, 即加速度是否均匀; (5) 起动过程的能量损耗和发热量的大小; (6) 起动设备的繁简和可靠性。其中起动电流和起动转矩两项是主要指标。

为了提高生产率, 尽量缩短起动过程的时间, 首先要求电动机应有足够大的起动转矩。根据运动方程式

$$M_q - M_s = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}$$

电动机起动的电磁转矩 M_q 应大于静态转矩 M_s , 才能使电动机获得足够大的动态转矩和加速度而起动起来。从 $M_q = C_m \Phi I_q$ 式可知, 要使 M_q 足够大, 就要求磁通 Φ 及起动时的电枢电流足够大。因此在起动时, 首先要注意的是将激磁电路中外接的激磁调节变阻器全部切除, 使激磁电流有最大数值, 保证磁通 Φ 为最大。

要求起动转矩和起动电流足够大, 并非越大越好, 过大的起动电流将使电网电压波动, 电动机换向困难, 甚至产生环火; 而且由于电动机产生的起动转矩过大, 可能损坏电动机的传动机构等。所以起动电流也不能过大。

设把电动机接到 $U=U_0$ 的电网直接起动, 试观察其起动电流是否满足上述要求。

在起动开始的瞬间, 先接通激磁电路, 并调节激磁电流为最大, 然后将电枢绕组接通电源。在此瞬间电动机由于惯性仍保持静止状态, 即 $n=0$, 反电动势 $E=0$, 这时电网电压直接加到电枢内的电阻 R_a 上, 即

$$U_e = E + I_q R_s = I_q R_s$$

因为电枢内电阻 R_s 很小,所以起动电流很大。例如 ZZ-82 型电动机, $P_e = 100\text{kW}$, $U_e = 220\text{V}$, $I_e = 500\text{A}$, $R_s = 0.0123\Omega$, 如将电动机直接接入电网起动, 起动瞬间电流为 $I_q = \frac{U_e}{R_s} = \frac{220\text{V}}{0.0123\Omega} = 17900\text{A}$, 约为额定电流的 36 倍。这样大的电枢电流显然是不允许的, 因此除极小容量的电机外, 不允许全电压直接起动。为了获得足够大的起动转矩, 同时限制起动电流在一定的范围内, 要在电枢电路接入一定数值的起动电阻。

电动机起动后, 起动电阻何时切除, 视电动机起动过程中, 转速、起动电流和起动转矩的变化情况而定。

当电动机转动起来后, 产生了反电势 E , 这时电动机的起动电流应为

$$I_q = \frac{U_e - E}{R_s + R_q} = \frac{U_e - C_e n \Phi}{R_s + R_q} \quad (1-13)$$

随着转速的升高, E 增大, I_q 减小, 则起动转矩 M_q 随之减小。这样电动机的动态转矩以及加速度也减小, 而转速的上升亦缓慢, 使起动过程拖长。最理想的情况是保持电动机加速度不变, 即使电动机作匀加速运动, 电动机的转速随时间成正比例上升, 如图 1-8 直线 1 所示, 它要求电动机的起动转矩与起动电流在起动过程 t_q 中保持不变。要满足这个要求, 由式(1-13)可以看出, 随着电动机的转速增加, 应将起动电阻均匀平滑地切除。这样做, 实际上是很困难的, 通常只能将起动电阻分成若干段逐段短路切除, 这可用自动控制, 也可用手动控制。起动电阻分段数目越多, 起动的加速过程越平滑, 但是为了减少控制电器数量及设备投资, 提高工作的可靠性, 段数应力求减少, 使起动电流变化保持在一定范围内即可。

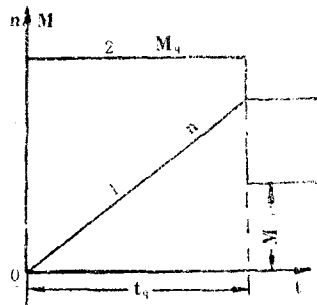


图 1-8 电动机理想起动过程

2. 分级电阻起动过程和机械特性图 为了便于讨论, 假设已选择起动电阻级数 $m=3$, 即将起动电阻分为三段切除。图 1-9 所示为电动机起动接线图, 图 1-10 所示为该电动机起动过程的机械特性曲线。这与第六章介绍的京都高温高压卷染机的主拖动线路是很相似的。下面进行分析。

令 R_s 代表电枢内电阻, r_1, r_2, r_3 代表各级起动电阻, R_1, R_2, R_3 为各级电枢总电阻。

起动开始瞬间(图 1-10 中 a 点), 电枢电路接入全部起动电阻, 由于这时电动机转速和反电势为零, 因此起动电流为最大值。

$$I_{qd} = \frac{U_e}{R_s + R_q} = \frac{U_e}{R_1}$$

最大起动电流 I_{qd} 要满足本节前面已讲过的两个基本要求, 既要有足够大的起动转矩, 又不允许有过大的起动电流。一般选 $I_{qd} = (1.8 \sim 2.5)I_e$ 。选定 I_{qd} 后, 第一级电阻人工特性可用两点 ($I=0, n=n_0$ 和 $I=I_{qd}, n=0$) 绘制, 即得到图 1-10 中的 A、a 两点和直线 1。

电动机转动起来后, 随着转速和反电势的增加, 起动电流和起动转矩将减小, 它们沿着特性曲线 1 箭头所示的方向变化。当转速升高至 n_1 , 而电流降到最小值(图 1-10 中 b 点), 即换接

电流 I_{qx} 时,加速接触器触点 1J 应及时闭合(图 1-9),第一级起动电阻 r_1 便被短路而切除。 I_{qx} 的数值一般选取 $(1.1 \sim 1.2)I_n$,使之在起动过程中,电动机的转矩始终大于额定的负载转矩。 I_{qx} 选得过大,虽然起动迅速,但将增加起动电阻级数。

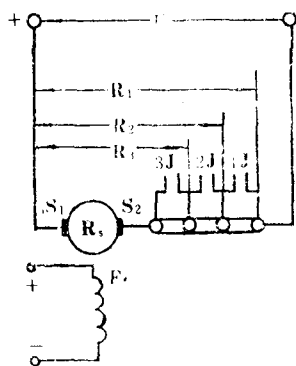


图 1-9 他激电动机起动接线

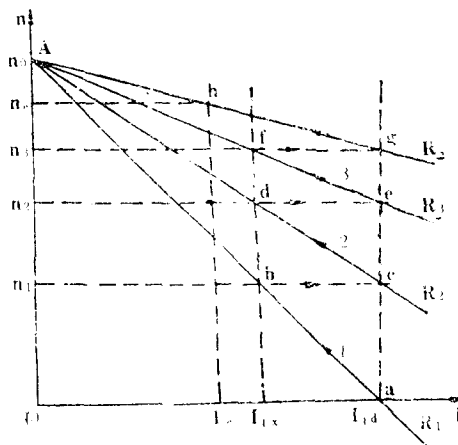


图 1-10 他激电动机起动特性

由于换接瞬间电动机的转速和反电势还来不及变化,起动电流将随起动电阻的减小而增加,如切除的第一级电阻 r_1 选择适当,应使起动电流又升高到 I_{qd} 。在此瞬间,工作状态由特性曲线 1 中的 b 点沿水平方向过渡到特性曲线 2 上的 c 点。c 点的坐标由 $I=I_{qd}$, $n=n_1$ 决定。连接 A、c 便得到与 R_2 对应的人工特性曲线 2。于是转速和电流又沿曲线 2 变化,到 d 点时切除第二段起动电阻 r_2 ,以此类推。如 I_{qd} 和 I_{qx} 选择适当,当最后一级起动电阻被切除后,电动机恰能过渡到自然特性曲线上,然后按照自然特性加速,一直达到 $M_q=M_n$ 时,电动机起动过程结束而进入稳定工作状态。如电动机拖动额定负载,则稳定运行在自然特性曲线 h 点上。

如果 I_{qx} 选得不合适,则当最后一级起动电阻被切除时,过 f 点的水平线和过 a 点的垂直线的交点 g 不在自然特性曲线上,这时就需要重新选择 I_{qx} ,重做各级人工特性,直到合适为止。

三、他激电动机的反转

某些印染机械由于生产的要求,常常需要改变电动机的转动方向。为此需要改变电动机电磁转矩的方向。因为电磁转矩是主磁极磁通和电枢电流相互作用而产生的,根据左手定则,磁通方向和电流方向有一个改变时,其作用力方向就会改变。所以改变电动机转向有两种方法:电枢绕组两端极性不变,而将激磁绕组反接;激磁绕组极性不变,而将电枢绕组反接。

用改变磁场来改变转向的方法,在工程上很少采用,因为他激电动机激磁绕组匝数较多,电感比较大,反方向激磁磁通的建立过程缓慢,因而改变转向较慢。所以一般都采用改变电枢电流的方法,接线如图 1-11 所示。当正向接触器接点 ZC 闭合时(反向接触器接点 FC 是断开的),电枢绕组 S_1 接到电源正端, S_2 接到负端,电动机正转;当 ZC 断开, FC 闭合时, S_2 接到电源正端, S_1 接到负端,则电枢电流方向改变,电动机反转。

如果电动机正转时,转矩和转速的方向为正,反转时,则转矩和转速应为负,这时电动机的