

高等纺织院校教材

9334/279
40375

纺织电气自动控制系统

纺织工业出版社

高等纺织院校教材

纺织电气自动控制系统

黄 炯 杨嗣芳 陈振翼 编

纺织工业出版社

内 容 提 要

本书重点阐述纺织生产过程中所使用的电力拖动自动控制系统原理。主要内容有：（1）卷绕机构的张力自动控制——阐述织物卷绕张力控制的基本原理和实现方法；（2）直流多电机同步拖动自动控制系统——提出对同步能力的分析、设计计算和调试等方法，并进行电动机起动制动的动态计算；（3）化纤工业的静止变频调速系统——推算出静止变频器的换流参数，分析异步电动机和同步电动机的调速特性，对变频器振荡的产生原因和消除办法作了初步探讨。

本书作为高等纺织院校电气自动化专业教材，也可供从事电气自动控制的工程技术人员参考。

责任编辑：王文浩

高等纺织院校教材
纺织电气自动控制系统
黄 炯 杨丽芳 陈振翼 编

*

纺织工业出版社出版
(北京东长安街12号)
北京纺织印刷厂印刷
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：12 8/16 插页：1 字数：312 千字

1982年5月 第一版第一次印刷

印数：1—10,200 定价：1.35 元

统一书号：15041·1143

前 言

本书是根据纺织生产过程中所使用的有关电力拖动自动控制系统编写的，作为高等纺织院校电气自动化专业教材。主要内容是织物加工过程中卷绕机构张力控制的分析和计算；印染机械的多单元机台直流电动机同步拖动系统的静态、动态分析；结合纺丝机的工艺要求对静止变频电路和控制环节的分析。

本书可以作为有关大专院校工业自动化专业的教学参考书，也可供从事于自动控制系统的有关工程技术人员参考。

本书是由华东纺织工学院和天津纺织工学院合编的。由华东纺织工学院黄炯同志担任主编并编写第一章和第四章；由华东纺织工学院杨嗣芳同志编写第三章；由天津纺织工学院陈振翼同志编写第二章。

书稿经1979年6月在华东纺织工学院召开的审稿会议讨论通过。参加审稿和对本稿提供资料来源及协助的单位有：上海纺织科学研究所、上海纺织机电厂、天津印染厂、浙江丝绸工学院、上海纺织专科学校、上海纺机公司研究所、上海印染机械厂、邵阳第二纺织机械厂、沙市印染厂以及其他兄弟单位。这些单位对书稿提出了许多宝贵意见，在此谨致以衷心的感谢。

由于我们编写水平有限以及时间仓促，书中难免有不妥和错误之处，希望读者给以批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 纺织电气的拖动控制系统在生产中的作用.....	(1)
第二节 纺织电气自动控制系统的主要内容.....	(1)
一、卷绕机构的张力控制系统.....	(1)
二、多电机同步拖动系统.....	(2)
三、变频调速控制系统.....	(3)
第三节 纺织电气自动控制系统的发展.....	(3)
第二章 卷绕机构的张力控制系统	(4)
第一节 卷绕机构的调节特性.....	(4)
第二节 恒张力控制的基本原理及方法.....	(5)
一、间接法张力控制原理.....	(6)
二、直接法张力控制原理.....	(10)
第三节 张力控制系统中的几个测量环节.....	(11)
一、卷径测量环节.....	(11)
二、磁通测量环节.....	(12)
三、张力计的作用原理.....	(14)
第四节 获得恒张力控制的几种常用方法.....	(15)
一、电流负反馈调节系统.....	(16)
二、利用卷径增大作控制信号的接触式张力控制系统.....	(17)
三、采用磁粉离合器传动的张力控制系统.....	(19)
四、其它方法.....	(20)
第五节 关于开卷机的恒张力控制.....	(21)
一、电动机传动的开卷机恒张力控制.....	(21)
二、磁粉制动器传动的开卷机恒张力控制.....	(22)
第六节 间接法恒张力控制应用举例——叠卷式亚漂机中的恒张力控制.....	(23)
一、叠卷式亚漂机工艺简介及恒张力要求.....	(23)
二、交卷辊恒张力控制原理.....	(24)
三、上卷与退卷电动机磁场调节电阻的设计.....	(26)
四、上退卷电动机实际控制线路.....	(28)
第七节 直接法恒张力控制系统应用举例——尼龙帘布浸胶机中的恒张力控制 系统.....	(29)
一、工艺流程及其对电气传动提出的主要要求.....	(29)
二、主回路和控制回路方案.....	(31)
第八节 张力控制系统中的动态补偿和机械损耗补偿问题.....	(35)

一、动态补偿	(36)
二、机械损耗补偿	(38)
第九节 传动卷绕机构的电动机容量选择	(39)
思考题	(41)
参考资料	(41)
第三章 多电机同步拖动系统	(42)
第一节 概述	(42)
第二节 拖动方案	(43)
第三节 同步方式	(47)
一、松紧架同步装置	(47)
二、自整角系统	(48)
三、单调电动机磁场	(48)
四、既调电动机磁场又调电压	(50)
五、分电源供电方式	(51)
第四节 染整联合机的起制动	(51)
一、对起制动的要求	(51)
二、起动	(51)
三、两种制动方式	(53)
四、相互能耗制动	(53)
五、相互制动	(56)
第五节 直流共电源系统中从动机调节系统动态分析	(61)
一、松紧架的传递函数	(61)
二、磁场回路的传递函数	(63)
三、从动机的传递函数	(63)
四、系统结构图	(63)
五、两种情况的动态分析	(64)
第六节 直流共电源系统设计计算	(69)
一、电动机容量的确定(预选电动机)	(69)
二、主令单元机的确定	(70)
三、磁场回路中电阻的确定	(70)
四、起动电压和电压上升率的确定	(75)
五、起制动布差的计算	(77)
第七节 同步旋转系统在染整机械上的应用	(79)
一、热定型机电轴系统的基本原理	(79)
二、同步率领系统中的转矩特性	(80)
三、热定型机电轴系统中应注意的问题	(83)
第八节 实际线路举例	(84)
思考题	(86)
参考资料	(86)
第四章 化纤工业的静止变频调速系统	(88)

第一节 概述	(88)
一、变频调速系统的应用	(88)
二、长丝纺丝机对变频调速的要求	(88)
三、静止变频器和变频发电机组的比较	(88)
四、可控硅变频调速系统发展概况	(89)
第二节 学习静止变频器应具备的基本知识	(90)
一、可控硅的关断时间及关断电路	(90)
二、有关 LC 和 RL 电路充放电的物理过程	(93)
三、可控硅的几种换流电路	(95)
四、无功功率反馈原理	(98)
第三节 变频调速系统逆变器的类型	(99)
一、电压型和电流型逆变器	(99)
二、 120° 和 180° 导通型逆变器	(100)
第四节 电压型可控硅变频调速系统	(101)
一、交流电压波的获得方法	(101)
二、单相串联电感式可控硅逆变器的作用原理	(102)
三、串联电感式逆变器的分析计算	(103)
四、三相串联电感式逆变器的工作原理和参数计算	(108)
五、输出电压波的计算与绘制	(109)
六、输出电压波的谐波分析	(111)
七、三相串联电感式逆变器的换流原理	(112)
八、三相逆变器的换流效率与参数(L 、 C 、 R)的选择	(114)
第五节 具有辅助换流的可控硅变频调速系统	(117)
一、逆变器的换流过程	(117)
二、逆变器电路的分析计算及参数选择	(119)
三、具有辅助换流的三相桥式逆变器的作用原理	(122)
第六节 具有串联二极管式的可控硅逆变器	(126)
一、串联二极管式三相逆变器的工作原理	(126)
二、无反馈二极管的逆变器换流过程	(128)
三、串联二极管式逆变器的类型及其性能	(129)
第七节 电流型逆变器的特性	(131)
一、负载对波形的影响	(131)
二、电流型逆变器变频调速的制动原理	(132)
三、电流型逆变器电动机的转速过冲现象	(134)
第八节 纺丝机变频调速电机的控制特性	(135)
一、异步电动机的变频调速特性	(135)
二、交流电动机的起动方法	(138)
三、逆变器输出波形对异步电动机力能的影响	(139)
四、同步电动机的变频调速特性	(139)
第九节 纺丝机的变频调速控制系统	(141)

一、逆变器控制系统概况	(141)
二、变频控制系统的保护	(142)
三、电压-频率变换器	(143)
四、环形计数器及其作用原理	(145)
五、纺丝机横动装置的转速控制	(150)
六、纺丝机变频调速系统的不停车运行	(151)
七、高速纺丝机的牵伸控制	(153)
第十节 脉冲调宽 (PWM) 逆变器和多单元级联逆变器	(154)
一、脉冲调宽逆变器的原理	(154)
二、三相脉冲调宽逆变器	(156)
三、多脉冲调宽波形	(158)
四、脉冲调宽逆变器的控制特性	(159)
五、多单元级联逆变器	(161)
六、三相二单元级联逆变器	(163)
第十一节 静止变频器的设计与调试	(166)
一、概述	(166)
二、主电路方案的选择	(166)
三、逆变器的参数计算及元件选择	(169)
四、逆变器的调试	(171)
五、变频调速系统的振荡	(172)
第十二节 高速纺丝机可控硅变频调速系统	(174)
一、静止变频器的主回路	(174)
二、逆变器控制回路的作用原理	(174)
三、直流电压控制回路的工作原理	(175)
四、电流截止负反馈电路	(177)
思考题	(177)
参考资料	(178)
附录	(180)
一、相互制动经典法解	(180)
二、线性定常系统状态方程解	(182)
三、磁场调节时电动机的传递函数	(184)
四、电压上升率的确定	(188)
五、直流电机 Z_2-61 磁化曲线	(189)
六、直流电机 Z_2-42 磁化曲线	(189)

第一章 绪 论

第一节 纺织电气的拖动控制系统 在生产中的作用

我国在纺织企业中实现现代化,其中很重要的就是使纺织生产过程实现自动化。我们知道,自动化的目的是要提高劳动生产率,减轻繁重的体力劳动,改善劳动条件,提高产品质量,降低消耗。这不仅在经济上会得到显著效果,而且也会促进科学技术的发展,提高广大劳动人民的科学技术水平。

在纺织企业中,有纺织、针织、印染、化纤等各种生产机械。纺织生产机械的特点是种类多,数量多。由于受到复杂工艺的限制,纺织生产的连续性差,很难做到“一条龙”生产,因此,所占劳动力多,手工操作多,劳动强度大,故有“轻工不轻”之说。针对这样一些问题,在纺织企业中迫切需要在不断技术革新的基础上实现连续化和自动化。

实现一台生产机械的全部自动化,往往需要对生产工艺上提出的一些参数进行控制,其中生产机械的转速控制,在高速高产量的情况下占主导地位。如细纱机,在一般转速运行时可以分级粗调速甚至不调速,而在提高产量,作高速纺纱时,在一落纱形成的过程中需要进行均匀调速,其产量可提高5%,并降低断头率,提高产品质量。这种调速的目的是为了减小纱线张力。又如浆纱机、整经机、卷染机、印染机、长丝纺丝机及化纤牵伸机等生产机械都有不同情况的控制转速的要求。在纺织部门各种不同形式的拖动控制系统大多是用来解决张力控制问题的。

电动机不仅作为生产的动力设备,而且在自动控制系统中也是主要反映控制参数的执行元件。如位置、速度、加速度、张力控制、能量储备以及惯量控制等都需要电机参与。所以有必要学习研究电机的自动控制系统。

第二节 纺织电气自动控制系统的主要内容

纺织电气自动控制系统所包含的内容是比较多的。本书仅就纺织生产中常用的一些电力拖动自动控制系统作为基本内容,其中主要有卷绕机构的张力控制系统、多电机同步拖动系统以及变频调速系统。

一、卷绕机构的张力控制系统

在织物加工过程中需设卷绕机构的机械比较多,如整经机、浆纱机、卷染机、染整出布大卷装、亚氯酸钠漂白联合机等。例如卷染机,将织物浸入染槽中,往复多次进行染色。如图1-1所示,卷布辊I和II各有一台调速控制电动机。若II为卷取辊,I为松卷辊,到II辊满时,控制I和II辊的电动机倒转,这时I便成为卷取辊,II成为松卷辊。为了获得恒定的张力,必须使织物线速度保持恒定,因此,当卷取辊的布卷直径增大时,必须自动地降低

电动机的转速。

二、多电机同步拖动系统

在印染机械加工过程中，为使之连续化，必须使各机台的电动机的转速彼此看齐以达到同步运行。图 1-2 所示，是用调直流电动机的电枢电压作公共调速的方法来 控制 全机车速。通过各单机台的车速差，使调整辊上下移动，以带动电动机磁场电阻促使各单元机之间同步运行。在这种方式的同步控制系统中，根据加工织物对象和工艺要求的不同，可分为无张力控制、一般张力控制、织物张紧控制和分段按比例牵伸张力控制等几种控制方式。实现这些调速控制，只要在调整辊的控制上设法改变布差的控制结构和传感装置即可获得满意的效果。

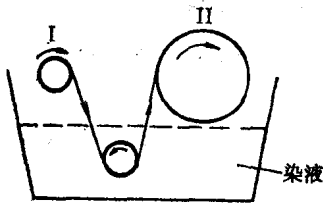


图1-1 卷染示意图

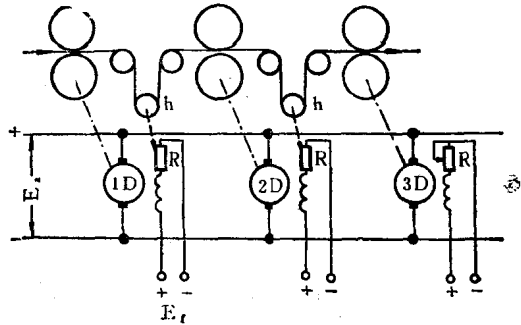


图1-2 直流多电动机同步拖动

R—磁场电阻 h—调整辊

(一) 无张力控制系统

这种控制系统，是将两机之间的下垂布差的长短通过遮蔽光电效应来控制电动机的激磁（见本书第48页图 3-10）。

(二) 一般张力控制系统

参看图 1-2，如前所述，不再重复。织物张力的大小取决于调整辊的重量。欲实现织物张紧控制，可在调整辊上加装弹性拉紧机构（如可调整弹簧或气压装置），如布夹丝光机中的第一、第二道轧车之间的紧布道辊。

(三) 分段按比例牵伸张力控制系统

这种系统在纺织企业中，大多用于化纤加工过程中。以三个单元的电动机控制系统为例说明之，如图 1-3 所示。在每一电动机单元中装有自整角机 SC、S_r。通过自整角机带

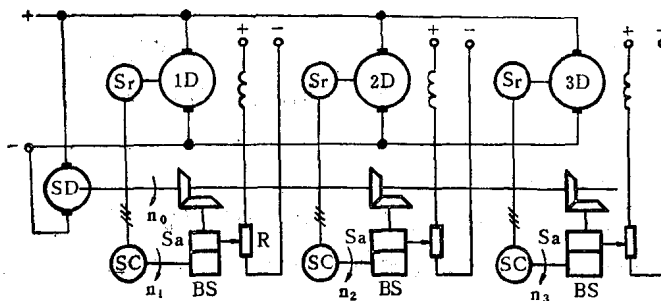


图1-3 按牵伸比例分段控制设备图

S_r—自整角机发送器 SC—自整角机接受器 BS—无级变速箱 S_a—差动装置
SD—同步校准电动机 R—磁场电阻

动无级变速箱 BS ，将电动机的转速 n_1 传到差动装置 Sa ，与主回路中的同步校准电动机 SD 的转速 n_0 作比较，于是差动装置 Sa 输出机构带动电动机磁场电阻 R ，从而使电动机的转速与 SD 的转速一致。如要获得各电动机之间始终保持固定的转速差，可以借助于改变电动机之间的无级变速箱 BS 的传动比来达到恒定的牵伸张力。

三、变频调速控制系统

这种系统大多用于多部位、同步及调速的场合，如化纤生产中的纺丝机上每一部位（喷丝头）需要数台不同频率的静止变频器。这就对静止变频调速系统提出增大容量的要求。为了进一步实现高速、高质量生产，对变频器又提出高精度和提高频率的要求。这样，使变频器及其控制系统日趋复杂化，因此有必要对变频调速系统进行学习探讨。

第三节 纺织电气自动控制系统的发展

直流电动机在多电机同步拖动系统中虽然有它的优越性，但也有难以克服的缺点，如它比鼠笼式异步电动机的结构复杂，有电刷，不便于维修，而且用铜量多。因此考虑使用异步电动机来代替直流电动机，以改变频率作为共同调速，而在异步电动机的轴上装有磁粉离合器作为补偿布差的微调速，以达到全机协调同步（见图1-4）。因为在多电机同步拖动系统中的微调范围不超过20%，在此范围内，磁粉离合器可用空气冷却，故在该系统中可能作到结构简单，调速宽广，可靠性高，经济效果好。

国外在纺织工业中已使用数字控制系统。采用数字式反馈控制主要是要得到高度的精确性。如在圆网印花机中，可以预先精确地调整拖动印花筛网电动机的转速与传动带之间的速比，使其在任何转速情况下都能保持同步。这样可以节省大量的调整时间，延长圆网的使用寿命，并提高印花质量。

在牵伸加捻机上，除了使用变频调速以外，还在卷绕成形方面应用微型计算机，对钢领板纵向运动、锭子的锥度形状以及卷绕条件都可以用数字来设定，从而能获得任意形状的卷装，而且可提高卷绕质量，简化机械结构。但这要随着微型计算机长期运行可靠性的提高以及价格大幅度的下降才能获得发展。

对化纤机械中的长丝纺丝机来说，在高速度和高精度的情况下，还必须进一步研究新的控制系统，如果仍依靠摩擦卷绕成形，是难以大幅度地提高单位产量的。因此，为加速实现纺织生产现代化，不断研制新的控制系统是刻不容缓的。

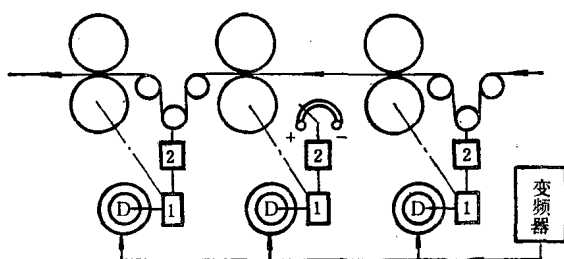


图1-4 印染机械使用变频调速的同步拖动

1—磁粉离合器 2—调整器

第二章 卷绕机构的张力控制系统

在纺织、印染和化纤生产中,有不少生产机械如整经机、浆纱机、亚氯酸钠漂白机、卷染机以及浸胶机等,它们在加工过程中,以及在加工的最后,都要将加工物——纱线或织物卷绕成筒形。为使其卷绕紧密、整齐,保证加工质量,要求在卷绕过程中,在织物内建立适宜的张力,并保持张力恒定。实现这种要求的控制系统,叫做张力控制系统。

卷绕机构的张力控制系统,除了在纺织生产中被广泛应用外,在造纸、线材生产、塑料和钢铁等工业中也都有应用。

鉴于在目前的纺织生产中虽已有了一些类型的张力控制机构,但对于较完善的张力控制系统还要进一步探索,所以在本章中,仅对卷绕特性和实现恒张力控制的基本方法进行讨论。

第一节 卷绕机构的调节特性

设计自动控制系统的任务,在于设法控制电动机的特性,使之与传动对象的负载特性相适应,以满足生产机械所提出的要求。为此,我们必须先了解卷绕机构的工作状态和机械特性。

典型的卷绕机构有两种:

一种是如图 2-1 所示的单方向卷绕机构。这里,在工作过程中,将固定在开卷机上的成卷织物逐渐展开,并经过工作机械、导辊,然后卷绕到卷取机上。

另一种是如图 2-2 所示的可逆卷绕机构。开始,织物从开卷机 I 上展开,经工作机械,卷到卷取机 II 上。然后改变运转方向(即原来的开卷机变成卷取机,原来的卷取机变成开卷机),以对织物进行反复加工。在这种卷绕机构中,通常卷取机和开卷机是分别由一台电动机传动的,只是传动开卷机的那台电动机是处于制动状态。而在纺织、造纸等一些比较简单的单方向卷绕机构中,又常常将开卷部分用机械摩擦制动装置来代替电动机的制动运行,使传动系统更为简单。

下面分别讨论卷取机和开卷机的调节特性。

(一) 卷取特性 如图 2-3 所示,当辊筒以转速 n 作顺时针方向转动时,织物被卷绕在辊筒上。为了保证加工质量,一般要求在卷绕过程中保持织物的张力 F 为恒定,即 $F = \text{常}$

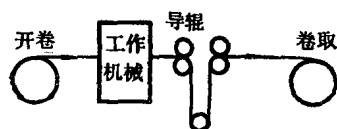


图2-1 单方向卷绕机构

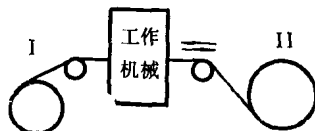


图2-2 可逆卷绕机构

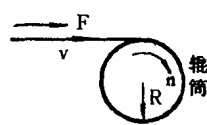


图2-3 卷取辊筒

数。而织物的张力，是由相邻两个传动点上的线速度差使得织物产生弹性伸长而形成的，所以，要保持织物内的张力恒定，就必须保持加工过程中织物的线速度恒定，即 $v = \text{常数}$ 。这样，在卷绕过程中，卷绕功率 $P = F \cdot v = \text{常数}$ ，也即要求卷绕机构具有“恒功率”的调节特性。其物理意义是：

在卷绕过程中，为保持织物张力恒定，则随着卷绕半径 R 的增大，卷绕辊上的负载转矩 $M = F \cdot R$ 将成正比地增大。卷绕轴的转速 $n = \frac{v}{2\pi R}$ ，即织物的线速度 $v = 2\pi R \cdot n$ 。为了保持线速度 v 为常数，就应该使卷绕轴的转速 n 与卷绕半径 R 成反比关系，即 $n = K_1 \cdot \frac{1}{R}$ (K_1 为一常数)。则传动卷绕轴的电动机的输出功率 $P = KM \cdot n = KF R \cdot K_1 \cdot \frac{1}{R} = \text{常数}$ 。由此可见，在线速度 v 保持恒定的情况下，恒张力控制系统实际上也是一个恒功率控制系统。

为了清楚起见，我们把在恒张力卷绕过程中电动机的转速 n 、卷绕力矩 M ，以及织物的线速度 v 、织物内的张力 F 等参量，与卷径 D 的关系绘在图 2-4 中。

反之，如果传动卷绕机构的电动机在运行中保持其转速 n 不变 ($n = C$ ，常数)，则随着卷径 D 的增大，织物的线速度 v 、张力 F 都将成正比地增大 (如图 2-5 所示)，以至织物被拉断。显然，这是不符合生产要求的。

所以，传动电动机的调节特性应满足 $n = \frac{K}{M}$ 的关系。此即为卷绕机构的卷取特性，见图 2-6 中曲线 1 所示。

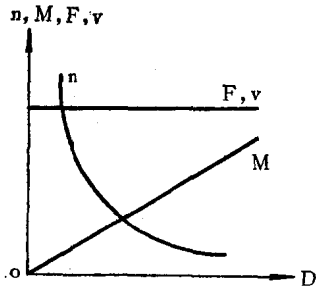


图2-4 恒张力卷绕中诸卷绕参数与卷径 D 的关系

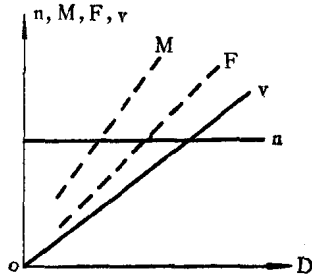


图2-5 $n = C$ 时，诸卷绕参数与卷径 D 的关系

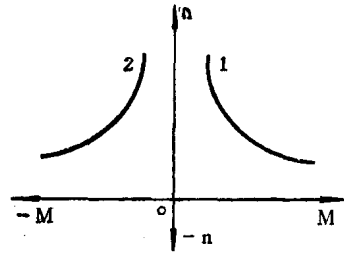


图2-6 卷取特性与开卷特性
1—卷取特性曲线 2—开卷特性曲线

(二) 开卷特性 开卷机构的工作情况与卷取机构正相反，如图 2-2 中所示。它产生一个与织物传送方向相反的制动力矩。同样，为了保持织物在加工过程中张力 F 和线速度 v 恒定，要求开卷轴上的制动力矩与开卷轴的转速 n 成双曲线关系。此时，开卷电动机产生的转矩与其转动方向相反，即电动机是被织物拖着转的，工作在发电制动状态，其调节特性在第二象限，见图 2-6 中曲线 2 所示。此即开卷机构的开卷特性。

第二节 恒张力控制的基本原理及方法

如前所述，卷绕机构对控制系统的主要要求是保持织物的张力恒定，所以这种控制系统都设计成张力调节系统。

卷绕机的张力特性为：

$$F = 2i \cdot \frac{M}{D} = C_1 \frac{M \cdot n}{v} = C_2 \frac{P}{v} \quad (2-1)$$

式中 F —— 卷取张力

P —— 张力功率

M —— 卷筒的传动力矩

n —— 卷筒的转速

v —— 卷取线速度

i —— 电动机轴至卷取轴的减速比

C —— 相应常数●

和其它自动控制系统一样, 根据自动调节原理, 张力控制系统的构成可以有如下三种类型:

1. 组成闭环张力调节系统, 即按张力的偏差进行调节, 也称为直接法张力调节系统。
2. 组成开环张力扰动调节系统, 即按张力的扰动进行调节, 也称间接法张力调节系统。
3. 既按张力偏差, 也按张力扰动进行调节的复合张力调节系统。

现就前两种类型的组成原理分述如下。

一、间接法张力控制原理

图 2-7 是卷取传动示意图。我们知道, 直流电动机的输出转矩为:

$$M = C_M \Phi I_d = M_F + M_0 + M_d \quad (2-2)$$

式中 M_F —— 卷取张力力矩, $M_F = \frac{F \cdot D}{2i}$ (式中 F 为卷取张力, D 为卷筒直径)

M_0 —— 电动机空载力矩

M_d —— 加减速时的动态力矩

I_d —— 电动机电枢电流

C_M —— 电动机转矩常数

Φ —— 磁通

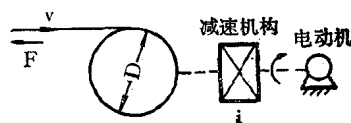


图2-7 卷取传动示意图

在式 (2-2) 中, 动态力矩 M_d 仅在动态过程中出现, 在恒速卷取时, $M_d = 0$ 。而机械损耗力矩 M_0 的变化规律比较复杂, 且一般数量不大, 在分析时可略去不计。

所以在稳定运行时, 张力的主要扰动量是卷径 D 和线速度 v 。则式 (2-2) 可写为:

$$M = C_M \Phi I_d = \frac{F \cdot D}{2i}$$

于是卷取张力为

$$F = 2i C_M \frac{\Phi I_d}{D} = K \cdot \frac{\Phi I_d}{D} \quad (2-3)$$

式中, $K = 2i C_M$ 为常数。

由式 (2-3) 可见, 欲保持织物运行中的张力恒定, 一般有如下三种方法:

1. 在卷绕过程中同时保持 $I_d = \text{常数}$ 和 $\frac{\Phi}{D} = \text{常数}$, 则 $F = \text{常数}$ 。
2. 在卷绕过程中, 使得 $I_d \propto \frac{D}{\Phi}$, 从而使张力 $F = \text{常数}$ 。而在简单的控制系统中, 常

● 文中凡未注明的字母“C”、“K”均指该式中的相应常数。下同。

常希望电动机在恒定的激磁下工作，即保持磁通 Φ 恒定，而使 $\frac{I_d}{D}=\text{常数}$ ，实现恒张力控制。

3. 恒功率调节系统：由式（2-1）可见，在线速度 v 为恒定的情况下， $F \propto P$ ，即恒张力控制系统实际上是一个“恒功率”控制系统。所以，如果采用功率负反馈组成恒功率调节系统，也可以间接地保持运行中的张力恒定。

上述三种方法中，在功率较大、要求较高的场合，一般采用第一种方法；而在功率不大、比较简单的场合，一般采用第二种、第三种方法。

现将实现这三种张力控制的方框图，及各方案补偿张力扰动的能力，简述如下。

（一）第一种方法

第一种方法主要包括两个部分：

1. 电流控制部分。依靠电流调节器来调节电动机的电枢电压，以维持电枢电流 $I_d=\text{常数}$ 。

2. 磁场控制部分。依靠磁场调节器来调节电动机的激磁电压，使电动机磁通 Φ 与卷径 D 成正比地变化，以维持 $\frac{\Phi}{D}=\text{常数}$ 。

这样，在两个调节回路的共同作用下，可维持张力为给定值。图2-8为这种控制系统的示意方框图。

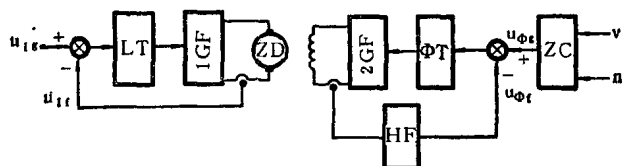


图2-8 张力控制系统原理图

图2-8中：

- ZD ——卷取电动机；
- LT ——电流调节器；
- GF ——功率放大装置；
- u_{Ig} ——电流给定；
- u_{If} ——电流反馈信号；
- ZC ——卷径检测环节；
- ΦT ——磁通调节器；
- $u_{\Phi g}$ ——磁通给定，这里 $u_{\Phi g} \propto D$ ；
- $u_{\Phi f}$ ——磁通反馈信号；
- HF ——函数发生器，用来校正激磁电流和磁通间的非线性关系。

显然，在电流调节回路中，只要电流给定信号不变，由于电流调节器的调节作用，电枢电流 I_d 就维持不变。而在磁通调节回路中，由于磁通给定 $u_{\Phi g}$ 与卷径 D 成正比，所以通过磁通调节器 ΦT 的调节作用，可以保证 $\Phi \propto D$ ，即 $\frac{\Phi}{D}=\text{常数}$ ，从而实现恒张力控制。

现在简要分析一下这种系统补偿张力扰动的能力。首先按图2-8画出其环节方块图，如图2-9所示。

图2-9中：

- I_d ——电动机电枢电流；
- I_b ——电动机激磁电流；

ZF ——乘法器，

Z_{F1} ——电动机磁场铁芯的磁化系数。

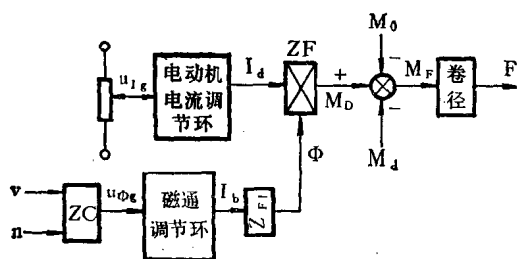


图2-9 张力自动调节方块图

很清楚，系统对卷绕过程中的主要扰动量 D ，将通过磁通调节环加以补偿。其补偿精度主要取决于卷径测量变换环节的测量精度，以及磁通调节环的调节精度，包括磁通 Φ 的测量变换精度。

对于各种原因引起的线速度的扰动，都将通过电流调节环的调节作用很快得到补偿，从而保持张力恒定。

但是，系统对于机械损耗力矩 M_0 和动态惯性力矩 M_d 所引起的扰动，没有补偿能力。所以，在容量大、要求高的系统中，应设置动态补偿环节和机械损耗补偿环节，以提高系统的控制精度。但这将使系统变得很复杂。

这种控制方法的优点是比较直观。但缺点是：

1. 电动机利用不充分。不论是高速还是低速运行，只要是不处在最大卷径，电动机就工作在弱磁状态。

2. 由于 $\Phi \propto D$ ，所以当卷径变化倍数大时，要求电机弱磁的倍数也大，则电机体积增大。

3. 这种控制方法要求按 “ $v_m \cdot F_m$ ” 来选择电动机，而实际上这两者并不同时出现，所以所选电机容量大，不能充分利用。这里， v_m 和 F_m 分别为织物的最大线速度和最大张力。

另外，为了提高控制精度，还要增加许多其它环节，如卷径测量环节、函数发生器等，使系统更复杂，也使误差加大。所以这种方法使用较少。

（二）第二种方法

图2-10是其示意方框图。图中符号的含义与前相同。

由于电动机的激磁是恒定的，所以这里用卷径信号 D 来作为电流调节器的给定值，用以控制 $I_d \propto D$ ，从而维持张力恒定。

同样，我们可以根据图2-10画出其张力调节方块图，如图2-11所示。

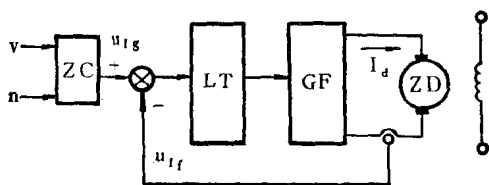


图2-10 激磁恒定的张力控制系统原理图

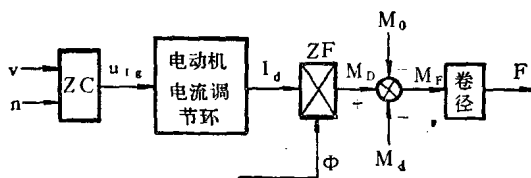


图2-11 张力调节方块图

由图可见，此系统对各种张力扰动的补偿能力与图2-9所示的系统基本一样。但由于这里是采用恒定激磁，不存在非线性调节回路，这不仅使系统简单，而且调节误差要比图2-9所示的系统小。只是由于卷径测量环节比较复杂，此方案在纺织生产中用得也很少。

（三）第三种方法

这种方法即功率负反馈控制系统。

由“电机学”知道，直流电动机的输出功率为

$$P = \frac{M \cdot n}{975} = \frac{C_M \Phi \cdot I_d \cdot n}{975}$$

当激磁为恒定时

$$P = K \cdot I_d \cdot n$$

式中，常数 $K = \frac{C_M \cdot \Phi}{975}$ 。

由式(2-1)可知，当忽略 M_0 、 M_d 时，在线速度 v 保持恒定的情况下，卷绕张力为

$$F = C_2 \frac{P}{v} = C_2 \cdot K \frac{I_d \cdot n}{v} = K' \cdot I_d \cdot n$$

式中， $K' = C_2 K \frac{1}{v} = \text{常数}$ 。

显然，如果能找到 I_d 和 n 的乘积 “ $I_d \cdot n$ ” 信号，并以此作为反馈量，即可得到卷绕功率负反馈系统，以实现恒功率控制，从而获得间接的恒张力调节。

图2-12即为这种系统的原理图。

图2-12中：CF——测速发电机；
GT——功率调节器；
GF——功率放大装置；
 Φ_{T1} ——测速发电机的磁通。

图中的 u_{gd1} 是以电压表示的卷绕功率给定值。功率反馈信号取自测速发电机 CF 的输出电压，即

$$u_{gf} = \alpha_i \Phi_{T1} \cdot n$$

式中， $\alpha_i \Phi_{T1}$ 是测速发电机 CF 的变换系数。

忽略 CF 的激磁绕组中激磁电流 I_b 与磁通 Φ_{T1} 之间的非线性，则

$$u_{gf} = K_1 \cdot I_b \cdot n$$

式中， K_1 为相应常数。

而 $I_b \propto I_d$ ，所以

$$u_{gf} = K'_1 \cdot I_d \cdot n$$

式中， K'_1 为相应常数。

可见， u_{gf} 就代表了电动机 ZD 的输出功率，故称功率负反馈系统。

显然，我们在考虑本方案时，假定了织物线速度 $v = \text{常数}$ ，并忽略了 M_0 和 M_d 的影响。所以，本系统对由 M_0 、 M_d 造成的张力波动没有补偿能力。

同样，当线速度 v 波动时，本系统也没有补偿能力。尤其在起制动过程中，随着线速度 v 的大幅度变化，张力 F 也将随着大幅度地变化。所以最好采用慢速起动。

另外，由于激磁电流与磁通间的关系是非线性的，所以 u_{gf} 只是近似地正比于电动机输出功率 P ，使系统误差加大。

但这种方法简单，容易实现，所以在工艺要求不高的场合是可以采用的。

综上所述，间接法张力控制的实质是控制电动机的参变量，使系统的调节特性与卷绕机械的特性相一致，从而达到补偿各种张力扰动、间接实现近似恒张力控制的目的。因此，我

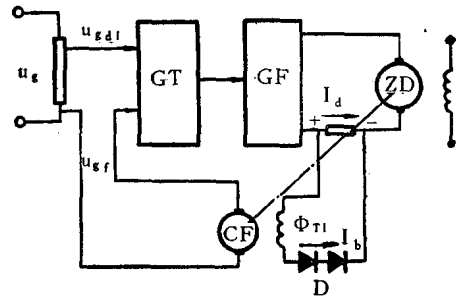


图2-12 卷绕功率负反馈控制系统