

国家示范院校重点建设专业优质核心课程工学结合系列教材

KUANGSHAN

JIXIE SHEBEI DIANQI KONGZHI

矿山机械设备电气控制

主编 梁南丁 周 斐

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家示范院校重点建设专业优质核心课程工学结合系列教材

矿山机械设备电气控制

梁南丁 周 斐 主 编

中国矿业大学出版社

内 容 摘 要

本教材是国家示范性院校平顶山工业职业技术学院重点项目建设专业——矿山机电专业的工学结合优质核心课程教材,由学校专任教师和企业兼职教师共同编写。教材内容主要包括矿山机械电气控制能力基础,矿井提升设备的交流拖动电气控制,矿井提升设备的直流拖动电气控制,采、掘、运机械电气控制,矿井通风设备电气控制,矿井空气压缩机电气控制,矿井排水设备电气控制,电动机及控制系统的选择,新技术在煤矿机械控制中的应用等9个能力模块和21个学习性工作任务。教材完全打破传统的章节结构,是理论实践一体化教材,教材以矿山机械设备电气控制岗位的工作任务为载体,采用工学结合、教学做一体的教学模式,为煤矿机电技术岗位培养合格、适用的高技能应用型人才。

本教材是矿山机电专业主干核心课程的校本教材,可供同类高职高专院校借鉴和使用,也可作为煤矿企业从事机电技术领域工作的工程技术人员、技术工人的培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

矿山机械设备电气控制/梁南丁,周斐主编. —徐州:
中国矿业大学出版社,2009.1

(国家示范院校重点建设专业优质核心课程工学结合系列教材)

ISBN 978-7-5646-0188-1

I. 矿… II. ①梁…②周… III. 矿山机械—电气控制—
高等学校:技术学校—教材 IV. TD4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 207714 号

书 名 矿山机械设备电气控制

主 编 梁南丁 周 斐

责任编辑 何 戈 耿东锋

责任校对 杜锦芝

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 20.5 插页 4 字数 525 千字

版次印次 2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

定 价 31.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本教材立足煤炭矿山机电技术岗位，以高等职业教育人才培养目标为标准，按照工学结合的思路，针对煤矿生产机械电气技术岗位的应知应会及高职教育改革的要求编写。

本教材具有以下特色：

1. 本教材针对煤矿生产机械电气技术岗位的应知应会要求，以完成具体的工作任务为目的，贯穿知识的学习与技能的训练。教材体系结构新颖，针对性强，培养目标明确。

2. 本教材内容涉及面广，覆盖了煤矿通风、压气、排水、提升、采掘、运输等生产机械的电气控制。

3. 本教材由生产厂矿工程技术人员、技术骨干、能工巧匠和学院教师共同编写，充分体现了以“就业为导向、以职业能力培养为重点”的工学结合教学改革思路。

4. 本教材采用能力模块结构，每个模块又由若干个学习性工作任务组成。教材内容在选取上注重培养学生分析工程问题、解决现场实际问题的能力，充分体现当前高职教育的改革思路和要求。本教材按照教、学、做理论实践一体化的教学模式编写，共需 180 学时左右。

本教材由梁南丁、周斐主编。河南平顶山工业职业技术学院梁南丁编写模块一；河南平顶山工业职业技术学院周斐、董德明，平顶山煤业集团十矿刘明谈编写模块二、模块五、模块六；河南平顶山工业职业技术学院于励鹏、河南平顶山煤业集团十三矿臧朝伟共同编写模块三；河南平顶山工业职业技术学院钱松涛、河南平顶山煤业集团机电处徐其祥共同编写模块四、模块七、模块八；河南平顶山工业职业技术学院庞元俊、河南平顶山煤业集团八矿周先锋共同编写模块九。全书由梁南丁统稿。河南平顶山煤业集团公司机电处处长、教授级高级工程师陶建平和河南平顶山煤业集团公司机电副总工程师向阳担任主审。

本教材在编写过程中，得到了河南平顶山煤业集团机电处和各生产厂矿机电科及机电生产区队的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，教材中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 11 月

目 录

模块一 矿山机械电气控制能力基础	1
任务一 矿山机械电气控制基础知识	1
任务二 电气控制线路图的阅读与绘制	15
模块二 矿井提升设备的交流拖动电气控制	24
任务一 提升绞车的继电器控制	24
任务二 TKD 电气控制系统的主要设备与维护检修	29
任务三 TKD—A 单绳提升机控制系统常见故障处理	47
任务四 JTKD—PC 单绳提升机控制系统的使用及维护	79
任务五 矿井多绳交流提升机 JKMK/J—A 型电气控制系统常见故障处理	96
模块三 矿井提升设备的直流拖动电气控制	110
任务一 V—M 直流提升机电控系统的调试维修	110
任务二 全数字直流提升机电控系统的调试	146
模块四 采、掘、运机械电气控制	163
任务一 矿用隔爆型电磁启动器	163
任务二 井下电牵引采煤机的拖动控制	167
任务三 可伸缩胶带输送机电气控制	195
任务四 矿用电机车电气设备及其控制	203
模块五 矿井通风设备电气控制	224
任务一 同步电动机运行维护与检修	224
任务二 同步电动机晶闸管励磁的电控系统常见故障处理	229
模块六 矿井空气压缩机电气控制	244
任务一 绕线式电动机频敏电阻启动设备的常见故障处理	244
任务二 高压同步电动机拖动电控线路的故障分析与处理	251
模块七 矿井排水设备电气控制	268
任务一 排水设备的降压启动控制	268
任务二 井下主排水泵的自动控制	274
模块八 电动机及控制系统的选择	279
任务一 电动机的选择	279
任务二 矿山机械电气控制系统的选择与设计	287
模块九 新技术在煤矿机械控制中的应用	298
参考文献	321

模块一 矿山机械电气控制能力基础

任务一 矿山机械电气控制基础知识

知识要点

1. 矿山机械的种类和功能；
2. 矿山机械自动控制的基本原则。

技能目标

1. 能说出矿山机械的分类、特点；
2. 能说出矿山机械对自动控制的要求；
3. 能对具体矿山机械自动控制进行分析。

任务描述

在现代化矿井建设中,凡要求较高的场合,都离不开自动控制。矿山机械的自动控制主要包括其电力拖动电动机的启动、调速、制动、停止、反转等过程的控制。本任务通过对矿山机械的自动控制原理、自动控制的基本原则的学习,掌握电气控制的基础知识及对矿山机械自动控制系统的组成与结构特点。

任务分析

任务一的目标要求是:掌握矿山机械电气控制的基础知识。要达到这个目标就要了解矿山机械的分类及不同类型的矿山机械对自动控制的要求;掌握矿山机械的自动控制系统的组成原理、自动控制的基本原则,以及对煤矿机械自动控制原理图进行阅读、分析的方法与步骤。

知识准备

一、矿山机械的分类及其对自动控制的要求

(一) 矿山机械的分类

矿山机械设备的种类很多,按工作性质可分为固定机械设备和移动机械设备两大类。固定机械设备包括通风、压气、排水和提升设备。移动机械设备包括电机车、综采机组、链板及胶带输送机、装载机等。

从拖动电动机的容量和用电量方面来看,矿山固定机械所占比重较大。其中提升机拖动电动机和压气通风机拖动电动机的容量多超过 1 000 kW——国外提升拖动电动机和压气拖动电动机的容量达到 10 000 kW 以上,国内提升拖动电动机的容量也达到 4 000~5 000 kW。从耗电量分析,有的矿井以通风设备耗电为主,但有的矿井则以排水设备耗电为主,视当地地质条件和矿井情况而异。在国外,压风设备电耗占全矿电耗的 25%;金属矿可

达 75%。

从机械的功能来说,通风机是为矿井通风安全服务的,特别在瓦斯矿井中,风量不足会引起瓦斯积聚乃至发生瓦斯爆炸;排水是为了防止矿井水淹,保证安全生产条件和设备安全;而压气机的作用,则是为风动工具提供动力,其重要性视矿井瓦斯条件和采用的掘进、回采工艺而定。移动机械设备是为采掘和运输服务的。综采机组开采出来的煤炭或矿石,通过链板输送机、胶带输送机和电机车运送到井底车场,再通过提升机或大胶带输送机提升到地面。

从电力拖动及控制系统的复杂性来说,提升设备的要求最高。因为提升机的启动、停止及稳定运行需要严格按照提升速度图运行,因此需要应用自动控制原理的各项原则和方法。由于提升高度、提升机和提升容器(箕斗或罐笼)的类型、工作水平的数目及其相互的距离变化使得提升机的工作方式的复杂性很突出,因而设计提升机的自动控制系统也比较困难。另外,由于负载(煤)的情况因煤质和含水量不同变化范围很大,也给自动控制系统带来一系列的问题。

通风机在我国以采用离心式和轴流式扇风机为多,拖动方式通常采用不调速的同步电动机或异步电动机,其控制系统比较简单。但是如果要实现通风系统的闭环调节,则有必要考虑电动机的自动调速,如采用异步机串级调速等。同步电动机启动多采用晶闸管自动投励。

压气机的拖动采用同步电动机或异步电动机。同步电动机可采用可控硅自动励磁系统。压气站自动化的作用在于根据矿井需用压气量来改变压气机运行台数,属于开环控制。

水泵采用交流异步电动机和程序控制,不需要闭环控制。水泵自动化的问题主要是根据水仓水位自动开停水泵,各台水泵轮换工作(以保证各台磨损一致),自动切除有故障的水泵并投入备用泵,以及必要的保护和监视设备(如流量保护、轴承过热保护、不上水警报等)。水泵的容量最好按一、二台水泵就能将全矿井涌水量排出来选择。这样,排水系统和控制系统就比较简单。

电机车的拖动采用直流串励电动机,以获得良好的牵引特性。控制系统的新趋势是采用可控硅脉冲调速代替用控制器和启动电阻进行启动、停止和串并联调速。

利用斜井大胶带输送机将煤炭直接送到地面,其优点是连续性输送,输送能力很大,工作可靠而且经济。如用宽 2 m 的胶带和 3 m/s 的速度,输送能力可达 1 万 t/h。在我国年产 200 万 t 以上的矿井中,用大胶带输送机代替竖井提升已逐渐增多,采用直流和交流拖动的均有。

井下链板和胶带输送机及装载机都采用异步电动机拖动,由于容量不大,一般选用鼠笼型电动机拖动,转速不可调。

综合机械化采煤技术在我国发展很快。国产采煤机装机功率已达到 1 910 kW。其电气控制正在向变频控制、智能化控制,实现无人化工作面采煤方向发展。

由于矿山机械种类繁多,控制方式和拖动电动机的类别也较多,重复性很大,因此,如果按生产机械分类来研究这门课程,就会显得杂乱无章,且有交叉重复,不利于教学。因此本教材采用以拖动电动机的类型来进行叙述,即按交流电动机(交流绕线式异步电动机、交流鼠笼式异步电动机、交流同步电动机)、直流电动机拖动(直流他励电动机、直流串励电动机)

进行分类,将不同的生产机械及其自动控制方式按照拖动电动机进行归类,这样理解和掌握。

(二) 矿山机械对自动控制系统的要求

1. 矿井提升机对自动控制系统的要求

矿井提升机的拖动电动机多采用交流绕线式异步电动机或直流他励电动机。

箕斗提升设备的工作方式是比较简单的,它的任务就是按照给定的五阶段或六阶段提升工作图(速度图、力图)将矿物由井下提升到地面。因此在实行综合自动化时,箕斗提升可以实现完全自动控制。罐笼提升设备是辅助的提升设备,主要用来升降人员、坑木、设备、各种材料及炸药和矸石等,其提升工作图多为三阶段。由于罐笼提升设备工作情况变化较大,采用半自动控制或远距离(在井口或在罐笼中)控制比较合适,实现自动控制比较用难。

综上所述,矿井提升机对自动控制系统的要求如下:

- (1) 提升系统的运行速度应满足提升工作图的要求。
- (2) 提升系统的工作过程应符合《煤矿安全规程》中的各项规定。
- (3) 提升系统应能安全可靠地运行。
- (4) 多绳摩擦轮提升时,在整个工作过程中要避免钢丝绳打滑。
- (5) 稳速运行时的最大速度,应与电动机轴上的负载变化及运动方向无关。
- (6) 在提升的最后阶段,容器以低速爬行来补偿调节系统工作的误差。要求能实现准确停车并在不采用机械制动的情况下使容器停在指定的水平上。
- (7) 在直流电力拖动自动控制的提升设备中,控制系统应保证在最大速度时有 $\pm 1\%$ 的精度而在检查井筒低速运行时有 $\pm 10\%$ 的精度。

对矿井提升设备来说,最好的自动控制系统应考虑限制加速度和初加速度。提升机的行程调节系统应保证实现需要的速度,而不受负载变化的影响,同时速度偏差不应达到使保护装置动作的数值。

2. 矿井通风机设备对自动控制系统的要求

矿井主扇风机的合理运行方式应该是通过人为地改变通风机或通风网路特性,即调节通风机的工况点使通风量不变或按一定的规律改变,并应保证在 10 min 内实现反风,同时反风后巷道的风量应不少于扇风机额定风量的 40%。

目前在矿井通风上应用的轴流式和离心式通风机基本上都是恒速工作的,同时备有调节工况点的专门装置,因此一般采用不调速的交流电动机(同步电动机或异步电动机)。近年来开始采用异步电动机晶闸管串级调速的拖动系统。同步电动机的启动采用晶闸管自动励磁。

因此,矿井通风机设备对自动控制系统的要求为:

- (1) 主通风机应有连续记录通风量和负压的自动记录仪器,以及在主扇的工作偏离给定参数(包括通风量、负压、电动机和扇风机轴承温度)时,向控制台发出信号的装置。
- (2) 应能对主扇电动机实现远距离启动、停车,并在必要时实现反风。
- (3) 实现矿井通风系统的综合自动化(即通风系统闭环调节)。其中包括研制检测矿井瓦斯、一氧化碳、氧、煤尘、风速、负压等参数的传感器和仪表,并将数据传送到地面调度站,最后通过电子计算机对数据进行处理、运算并发出指令对通风网路和通风机进行参数调节。

3. 矿山排水设备对自动控制系统的要求

排水设备都采用离心式多级水泵,其扬程根据排水高度而定,流量则根据最大涌水量来确定。排水设备的拖动电动机多为双鼠笼型异步电动机。大型水泵采用 6 000 V 高压异步电动机拖动。

采用自动控制可使排水设备工作更加可靠、经济,并且可以远距离监视其工作,便于管理,可以实现水泵房无人值班。

对排水设备自动控制的要求如下:

- (1) 能根据水仓水位上升或下降到一定位置,自动启动或停止电动机。
- (2) 启动电动机前应先向水泵灌水,灌水完成后发出信号,并启动电动机。
- (3) 高压电动机的启动应考虑油开关的自动合闸。
- (4) 在启动电动机时,排水管的主阀门应先不打开(停泵时关闭),使电动机空载启动,可以降低启动电流。
- (5) 当电动机启动后,缓缓打开主阀门,使电动机负荷逐步增加,可以采用电动阀门担负开闭阀门的任务。
- (6) 如因吸水管底阀漏水或其他原因发生不上水故障,应发出不上水信号,并关闭主阀门,切断电动机,并启动另一台水泵。
- (7) 停泵时应先关闭主阀门,然后停泵,否则会发生水烫现象,打坏水泵轮叶。
- (8) 当有几台水泵时,应实现水泵的轮换启动,以保证水泵磨损一致。
- (9) 应设置水泵轴承过热保护,水泵流量下降或不上水保护,控制回路失压保护等故障保护,发生故障时应停泵。
- (10) 因涌水量过大而超过危险水位时,应发出警报信号;如水泵启动后,水位仍然上升,应能再开一台水泵或几台水泵。
- (11) 有故障的水泵应有闭锁,在排除故障前不许启动。

4. 电机车的工作特点和对自动调速的要求

在我国,井下大巷运输主要依靠电机车。瓦斯矿井一般采用蓄电池式防爆型或特殊防爆型电机车;在无瓦斯或低瓦斯矿可采用架线式电机车。

蓄电池式电机车从装在机车上的蓄电池组取得电源;架线式电机车则由牵引变流所通过架设在巷道中的架空接触线取得电源。

电机车采用直流串激电动机作为牵引电动机。直流串激电动机具有优良牵引特性,启动转矩大,启动电流小,在电源电压降低时只影响速度而不影响力矩,和复激电动机相比,其外型尺寸较小,便于装在电机车车架上。当负载增加时,转速自动降低,因而从电源吸取的功率基本不变,对牵引变流所有利。

对电机车的调速要求是不高的,所以一般不必采用闭环控制。但是电机车启动和停止频繁,利用启动电阻启动,消耗大量电能,而且控制器接点易烧毁,维修量很大,所以采用直流脉冲调速是有益的。特别是在蓄电池电机车中,因蓄电池容量有限,所以节约电能值得重视。

二、自动控制的基本方式

自动控制系统按照系统中是否设有反馈环节分为开环控制系统和闭环控制系统。

(一) 开环控制系统

开环控制系统是指系统的输出端与输入端不存在反馈关系、系统的输出量对控制作用不发生影响的系统。这种系统既不需要对输出量进行测量,也不需要输出量反馈到输入端与输入量进行比较,控制装置与被控对象之间只有顺向作用,没有逆向联系。

图 1-1 所示就是一个开环控制的电动机调速系统。图中,电压信号 u_n^* 作为控制电动机转速的给定量,电动机的实际转速 n 就是被控量。当给定电压改变时,电动机转速也跟着改变。但由于没有测量反馈,电动机的实际转速等于多少、是否满足要求都不得而知,因此也就不具备自动稳速功能。当负载力矩改变时,转速也会跟着改变。

开环控制系统的基本结构如图 1-2 所示。

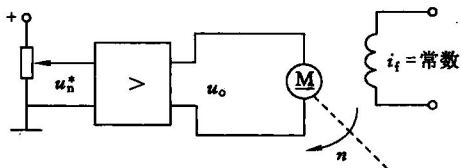


图 1-1 开环控制系统电路图

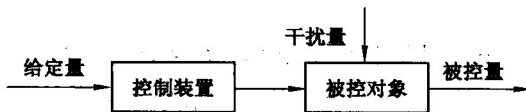


图 1-2 开环控制系统的基本结构图

开环控制系统的特点是:系统结构和控制过程简单,成本低廉,稳定性好,这是开环系统的优点。因此,在输出量和输入量之间的关系固定,且内部参数或外部负载等扰动因素不大,或这些扰动因素产生的误差可以预计并能进行补偿,则应尽量采用开环系统。开环系统的缺点是当控制过程受到各种扰动因素时,将会直接影响输出量,而系统不能自动进行补偿。特别是当无法预计的扰动因素使输出量产生的偏差超过允许的限度时,开环控制系统便无法满足要求,即开环系统的抗干扰能力差,没有自动调节能力。此时就应考虑采用闭环控制系统。

(二) 闭环控制系统

闭环控制系统就是反馈控制系统。这种系统的控制装置与被控对象之间不仅有顺向作用,而且输出端与输入端之间存在反馈联系,因此输出量的大小对控制作用有着直接影响。

图 1-3 所示就是一个闭环控制的电动机调速系统。它是在开环控制的基础上,通过增加测速反馈环节而形成的。这样一来,负载转矩变化对转速的不良影响就会大大降低。可以看出,当给定信号 u_n^* 维持恒定时,如果负载转矩增大,电机转速必然降低,开环系统对此无能为力。闭环系统则不然,由于有了反馈,转速降低使得反馈信号减小,偏差信号增大,电机电压就会升高,转速又会上升,最终偏差就会减小。反之亦然。可见闭环的作用就是利用反馈来减小偏差。

闭环控制系统的基本结构如图 1-4 所示。

闭环控制系统的突出优点是控制精度高,抗扰能力强,适用范围广。无论出现什么干扰,只要被控量的实际值偏离给定值,闭环控制就会通过反馈产生控制作用来使偏差减小。这样就可使系统的输出响应对外部干扰和内部参数变化不敏感,因而有可能采用不太精密且成本较低的元件来构成比较精确的控制系统。

由以上分析可见,反馈控制可以自动进行补偿,这是闭环控制的一个突出优点。当然,闭环控制系统也有其固有的缺点:一是结构复杂,元件较多,成本较高;二是闭环控制会带来

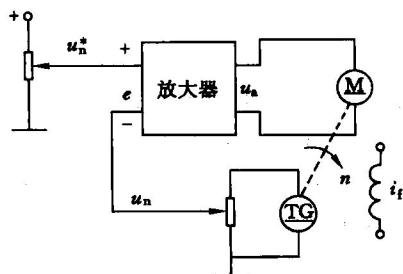


图 1-3 闭环控制的调速系统电路图

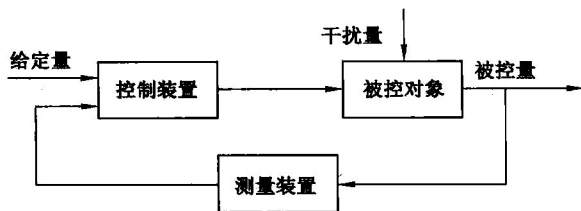


图 1-4 闭环控制系统的基本结构图

副作用,使系统的稳定性变差,甚至造成不稳定。这是采用闭环控制时必须重视并应加以解决的问题。

三、闭环控制系统的基本组成与分类

(一) 闭环控制系统的基本组成

闭环控制系统都是反馈控制系统,其典型结构如图 1-5 所示。图中,系统的组成环节和被控对象用方框表示,信号通路及其传输方向用箭头线表示,反馈信号的极性用“+”、“-”号表示,“-”号表示负反馈,“+”号表示正反馈。系统中的主反馈及绝大多数局部反馈必须采用负反馈,正反馈只在补偿控制中偶尔采用,符号“ $\otimes$ ”表示多路信号在此叠加进行代数求和。由此可见,该图表示了各个环节在系统中的位置及其相互间的关系。

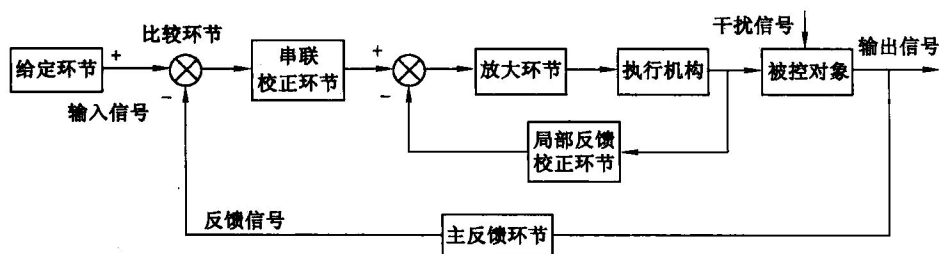


图 1-5 闭环控制系统的典型结构图

下面解释各种组成环节的概念及其功能。

- (1) 给定环节:产生给定(输入)信号的环节或元件,如调速系统的给定电位计(器)。
- (2) 反馈环节:对系统被控量或中间输出量进行测量并转换为与相应输入信号一致的反馈信号的环节或元件,它可以构成主反馈或局部反馈,如调速系统的测速电动机。
- (3) 比较环节:对系统输入量和反馈量进行加、减运算求取偏差的环节或元件。输入量和反馈量的极性用“+”与“-”表示,若为负反馈,两信号极性相反;若为正反馈,则两信号极性相同。
- (4) 放大环节:对偏差信号进行电压放大和功率放大的环节或元件,如各种放大器等。
- (5) 执行机构:直接对被控对象进行操作从而对系统产生实际控制作用的环节或元件,如执行电动机、过程调节阀等。
- (6) 校正环节:用于改善系统性能的环节,一般是电子电路形式,可以串联在前向通道,也可以构成局部反馈通道。

(7) 被控对象:控制系统所要操纵的机器设备或生产过程,它的输出量即为系统的被控量,如恒温箱、电动机等。

一般规定,信号从系统输入端沿箭头方向到达输出端的传输通路称为前向通道;系统输出量经由测量装置反馈到输入端的传输通路称为主反馈通道;前向通道与主反馈通道一起构成主回路。此外还有局部反馈通道以及由它组成的内回路。只有一个反馈通道的系统称为单回路系统,有两个以上反馈通道的系统称为多回路系统或串级调速系统。

(二) 自动控制系统的分类

自动控制系统可以从不同角度来分类。

1. 按系统的结构特征分

分为开环控制系统、闭环控制系统及复合控制系统。

2. 按输入量变化的规律分

(1) 恒值控制系统:其特点是系统的输入量是恒值,要求系统的输出量也相应地保持恒值。如自动调速系统、恒温控制系统等均属此类。

(2) 随动系统:其特点是系统的输入量是变化着的(有时是随机的),而要求系统的输出量能跟随输入量的变化作相应的变化。如刀架跟随系统,火炮控制系统,机器人控制系统等。

(3) 程序控制系统:其特点是输入量按照预定的规律变化,要求被控量也按照同样的规律变化。如热处理炉温度控制系统就属于此类,因为它的升温、保温和降温过程就是按照预先设定的变化规律进行控制的。

3. 按系统各环节输入、输出关系的特征分

(1) 线性控制系统(连续控制系统):该系统所有环节或元件的输入、输出关系都是线性关系。因此系统的行动规律可用线性微分方程来描述。

(2) 非线性控制系统(离散控制系统):系统中至少有一处信号是脉冲量或数字量。因此系统的行动规律必须用差分方程来描述,如果用计算机来实现采样和控制,则称为数字控制系统。

此外,按照系统参数的变化特征还可分为定常参数控制系统和时变参数控制系统等。

本书主要研究的是连续、线性、定常、恒值控制系统。

四、自动控制系统的性能指标

矿山机械自动调速系统的技术性能指标分为静态指标与动态指标。

静态指标代表系统静态运行中的性能。主要有静差率 $\delta\%$ 、调速范围 D 、调速平滑性 φ 及稳态误差等。

动态指标代表系统动态过程的性能。主要有稳定性、最大超调量 σ 、调整时间 t 及振荡次数 N 等。

(一) 静态指标

1. 调速范围 D

电动机额定负载下的最高转速 $n_{\max}$ 与最低转速 $n_{\min}$ 之比,即

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

不同的生产机械要求的调速范围不同。矿井提升机要求 $D=20\sim 50$, 龙门刨要求 $D=20\sim 40$, 热连轧机则要求 $D\leq 10$ 。

2. 静差率 δ

静差率 δ 的定义: 电动机在某一转速下稳定运行, 当负载由空载增加到额定负载时的转速降 Δn 与理想空载转速 n_0 的比值, 称为静差率 δ , 通常以百分数表示。

$$\delta = \frac{\Delta n_N}{n_0} \times 100\% = \frac{n_0 - n_N}{n_0} \times 100\%$$

一般调速系统对静差率的要求是指在最低稳态转速下的静差率, 即空载转速为最小值 $n_{\min}$ 时的静差率

$$\delta = \frac{\Delta n_N}{n_{0\min}} \times 100\%$$

最低转速 $n_{\min}$ 可由下式求得

$$n_{\min} = n_{0\min} - \Delta n_N = \frac{\Delta n_N}{\delta} - \Delta n_N = \Delta n_N \frac{1 - \delta}{\delta}$$

则额定转速下调速系统的 D 、 δ 和 Δn_N 三者之间的关系为

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{n_N \delta}{\Delta n_N (1 - \delta)}$$

可见生产机械要求的转差率愈高, 允许的调速范围愈小; 在一定静差率要求下, 要满足一定的调速范围, 必须提高机械特性硬度, 即减小 Δn_N 。

3. 调速的平滑性

电动机在调速范围内, 所获得的调速级数愈多, 则调速愈平滑。调速的平滑性系指相邻两级转速之比, 用平滑系数 φ 来表示

$$\varphi = \frac{n_i}{n_{i+1}}$$

式中 n_i ——电动机在 i 级时的转速;

n_{i+1} ——电动机在 $i+1$ 级时的转速。

平滑性与调速级数有关, 级数越多, 级间速度差越小, 平滑性越好。 $\varphi=1$ 时为无级调速, 平滑性最好。

4. 稳态误差

当系统由一个稳定状态过渡到另一个稳定状态, 或系统受扰动作用后又重新平衡, 这时系统输出量的期望值与稳定时的实际值之间存有偏差, 这种偏差称为稳态误差。稳态误差表征了系统的准确程度, 并由此可将系统分为无静差系统和有静差系统。

(二) 动态指标

表征系统过渡过程的指标称为动态指标。由于系统存在惯性(机械惯性、电磁惯性、热惯性等), 使得系统由一个稳定状态过渡到另一个稳定状态时总要经历一段时间, 即有一个过程, 这个过程叫过渡过程。

1. 系统的稳定性

在系统中, 当输入量或扰动量变化时, 输出量将会偏离系统原来的稳定值, 但是由于反馈环节的作用, 通过系统内部的自动调节, 系统能回到(或接近)原来的稳定值或能跟随输入量稳定下来, 如图 1-6(a) 所示, 这类系统为稳定系统。若系统由于内部的相互作用, 使系统

出现发散而处于不稳定状态,如图 1-6(b)所示,这类系统为不稳定系统,显然这种系统是无法工作的。因此,对任何自动控制系统,首要的条件就是系统能稳定运行。

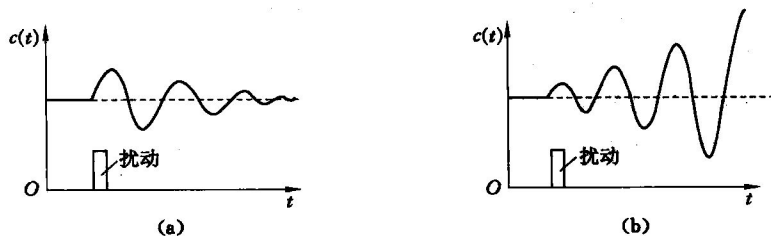


图 1-6 自控系统的稳定性

(a) 稳定系统; (b) 不稳定系统

2. 最大超调量 σ

最大超调量是系统输出量 $c(t)$ 与稳态值 $c(\infty)$ 的最大偏差 $\Delta c_{\max}$ 与稳态值 $c(\infty)$ 之比,如图 1-7 所示,此时最大超调量 σ 为

$$\sigma = \frac{c(t) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

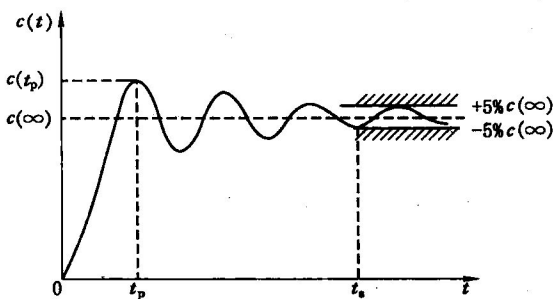


图 1-7 系统突加给定信号时的动态响应曲线

显然, σ 愈大,系统的过渡过程愈不平稳,不能满足生产机械工艺要求; σ 值愈小,说明系统过渡过程愈平稳,但过渡过程太缓慢。不同系统对 σ 值有不同要求。

3. 调整时间 t_s

调整时间是从输入量作用于系统到输出量进入离稳定 $\pm 5\%$ (或 $\pm 2\%$) 区域所需要的时间。它反映了系统的快速性, t_s 愈短,系统快速性愈好。

4. 振荡次数 N

振荡次数是指在调整时间 t_s 内,输出量在稳定值上下摆动的次数。如图 1-9 表示系统的振荡次数 $N=2$ 。 N 愈小,表明系统的稳定性能愈好。不同生产机械对振荡次数的要求不同,如普通机床一般可允许振荡 2~3 次;龙门刨床和轧钢机允许 N 为 1,而造纸机则不允许有振荡。

由以上分析可知,在系统的静、动态指标中,最大超调量 σ 和振荡次数 N 反映了系统的稳定性,调整时间 t_s 反映了系统的快速性,稳态误差反映了系统的准确性。一般来说,我们希望系统具有稳、快、准的性能,但是在同一个系统中,稳、快、准是相互制约的。快速性好,

可能引起强烈振荡;改善稳定性特别是提高相对稳定程度时,可能会使响应速度趋缓,稳态精度下降。因此,对实际系统而言,必须根据被控对象的具体情况,对稳、快、准各有侧重。例如,恒值系统对准确性要求较高,随动系统对快速性要求较高等。这一点,在自动控制原理中已详细讲解。

五、矿山机械的控制方式

矿山机械的控制方式根据其操作方式的不同,可分为手动控制、半自动控制和自动控制方式三类。

手动控制是利用手动控制电器由人力操作实现对电动机的控制。手动控制是最为简单的控制,使用设备少,成本低,目前在矿山简单的小型机械设备中仍采用这种控制方式。

半自动控制是指控制过程一部分由人工操作,另一部分则自动完成。它比手动操作使用控制设备多,操作起来较为简单。

自动控制是利用各种控制电器的组合构成自动控制系统,自动完成生产机械的控制过程,显然这种控制方式是最理想的电力拖动控制方式。

矿山机械的自动控制系统分为断续控制、连续控制和程序控制三种类型。

断续控制系统是由继电器与接触器等有触点电器组成。操作者通过按钮或其他主令电器操纵接触器——继电器电路,实现对矿山机械的启动、调速、反转等控制。这种控制简单、成本低、工作稳定。由于继电器、接触器只有“通”和“断”两种工作状态,因而这种控制是断续的,不能连续地反映信号的变化,故称为断续控制。

连续控制是由连续控制元件组成的,连续控制元件有微机控制器、调节器、可编程序控制器、电机放大机、磁放大器和电力半导体器件等。这种控制不仅能反映信号的“通”或“断”,而且能反映信号的数值大小和变化,可以完成复杂的控制任务,如可得到很宽的调速范围,可保持生产过程中的某些参量为定值等。

程序控制是按照人们预先给定的程序(运动规律、工作顺序、工艺过程等)进行自动控制的。近年来由于数控技术的发展和计算机的应用,出现了新型的控制装置如可编程序控制器(简称 PLC)等。它以微处理器为核心,取代了继电器接触器电路,通过编程可灵活地改变控制程序,满足各种控制要求,同时还能应用于大规模的生产过程控制。这种控制具有通用性强、程序可变、编程容易等优点,是当今及今后矿山机械自动控制的发展方向。

六、自动控制的基本原则

生产机械电力拖动系统的启动、加速、制动减速、停车以及调速等控制都可以靠自动装置来进行,不同种类电动机的启、制动方法和调速方式是不同的,其自动控制方式也有区别。电力拖动系统的自动控制方法很多,但不论哪种控制方法都是根据电动机工作时某一电气参数如:电流、电势(电压)、频率等,或机械参数如:转速等的变化来进行的,从而形成各种自动控制原则。

(一) 反馈控制

自动控制系统的实质是采用反馈控制,即利用自动检测装置将被控对象的输出信号(被控量)送回到输入端,并与给定值进行比较,形成偏差信号,调节器对偏差信号进行运算,根据运算结果发出信号去控制被控的输出量,使输出量与给定量的偏差保持在容许范围之内。在速度调节系统中,反馈控制系统就是闭环自动调速系统,具有良好的稳态性能和动态响应

性能,其突出特征是抗干扰能力强。

(二) 时间控制

时间控制原则,以时间为控制变量。在生产过程中,有要求按一定的时间间隔来顺序改变工作状态,如绕线型异步电动机的启动、制动和反转过程的控制,可以按照一定的时间间隔来改变转子附加电阻,从而实现启动和制动过程的顺序控制。时间间隔的长短决定于生产工艺要求或由所要求的电动机启、制动和反转过程的持续时间。

时间原则控制方法简单可靠,对于任何容量和电压的电动机都可以用同一型号的时间继电器来实现,电网电压的变化不影响启动和制动过程,但这种控制仅在计算负载下才能保证按预定的运行规律工作,当实际负载与计算值不同时,就会与设定的运行规律产生误差。图 1-8 为时间控制的电动机启动特性。在额定负载 M_N 下,电动机沿特性曲线的 1,2,3,... 加速;但当负载转矩较小时,电动机转速上升较快,造成滞后切换,由于整定的时间不变,切换转矩偏离设计值 M_2 ,使电动机沿特性曲线 1',2',3',... 加速;当负载转矩较大时,电动机速度减小,在整定时间内,切换超前,使启动转矩大于上限切换转矩 M_1 ,电动机将沿特性曲线 1'',2'',3'',... 加速,显然这种转矩冲击严重时将导致设备不能正常运行。

(三) 电流控制

电流控制原则,以电流为控制变量。根据电路中电流的变化规律,借助于电流继电器,实现对电流的控制。当电路中电流增大到某一值时,电流继电器吸合;当电流减小到某一值时,电流继电器释放。通过调节电流继电器的整定值,就可以按不同的电流发出控制信号。如:在矿井提升机拖动系统中,为了限制电动机的启动电流,通常在转子回路中加入启动电阻,随着电动机转速的变化,启动电流也发生变化,利用电流继电器检测电流的变化,通过其触点控制转子启动电阻的切除,从而控制电动机的运转,实现电流原则的控制。

电流原则控制属于恒转矩控制,在启、制动过程中电动机转矩的平均值是始终不变的,转矩的变化范围也是不变的,与负载、电源电压等的变化无关。但是,负载的变化将影响启、制动过程时间的变化,特别是当负载较重时,电动机长时间在某条特性上长时间运行造成启动电阻或电动机绕组过热,使设备发生故障,如图 1-9 所示。

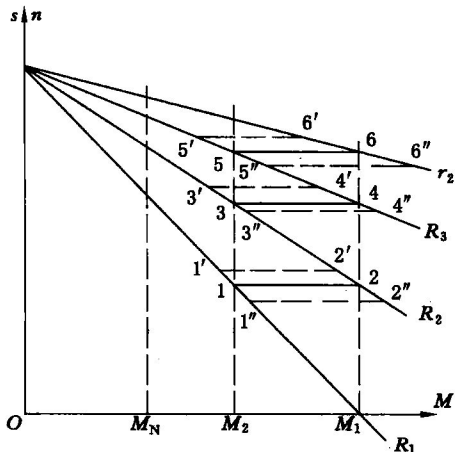


图 1-8 时间控制的电动机启动特性

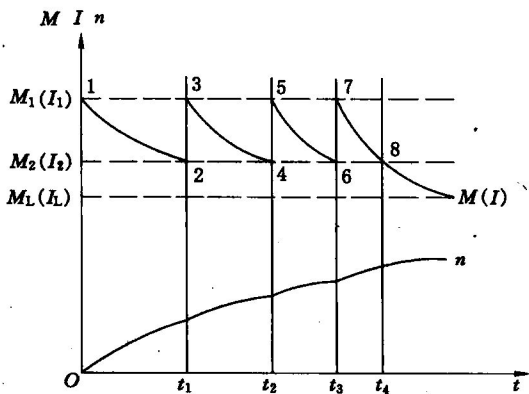


图 1-9 电流控制的电动机启动特性

(四) 时间和电流混合控制

时间控制原则及电流控制原则,各有其优缺点,特别是当矿山生产机械负载变化很大时,电动机启动电流的冲击峰值不一样。如果电动机在启动过程中仅采用时间控制原则,则电动机的冲击电流影响电动机的正常运行,如仅采用电流控制原则,则启动过程的时间不能保证,有时甚至会发生故障。为了克服单一控制原则的不足,可以采用电流和时间混合控制的原则,它包括以电流为主附加延时的控制,以时间为主、电流为辅的控制以及电流时间平行控制三种方式。我国目前生产的专为单绳缠绕式矿井提升机配套的电控系统多采用以电流为主、时间为辅的控制原则,为多绳摩擦轮式提升机配套的电控系统多采用时间电流平行控制的控制原则。

以电流为主、时间为辅的电动机启动特性如图 1-10 所示。从控制范围看,电流控制约占 75%,时间控制约占 25%。特性曲线中转矩 M_s 与各条曲线的交点即为两种控制的分界点,该点之前为电流控制,之后为时间控制。由于是以电流控制为主,所以当负载较大时,不会出现提前切换的现象,可避免在启动过程中电流和转矩的较大冲击;负载较小时,电流和时间配合控制,可以在一定范围内调节切换转矩和加速度。

时间电流平行控制的电动机启动特性如图 1-11 所示。这种控制方法的特点是在启动过程中,每切换一次特性,必须同时具备两个条件:一是时间延时的结束,二是电流的释放。两者有一个条件不能满足,电动机特性就不能切换,就需要等待。这样,在重载时,主要由电流进行控制,可防止启动转矩和切换转矩过大而产生钢丝绳打滑;轻载时,主要由时间进行控制,电动机沿 1, 2', 3', ... 加速,防止加速过快,有利于提升安全。

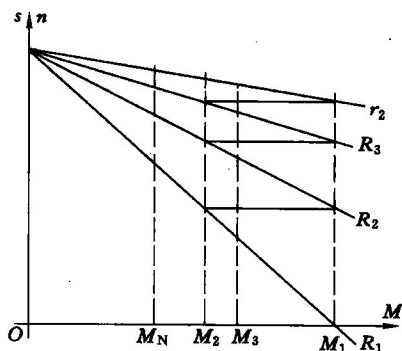


图 1-10 电流为主时间为辅的电动机启动特性

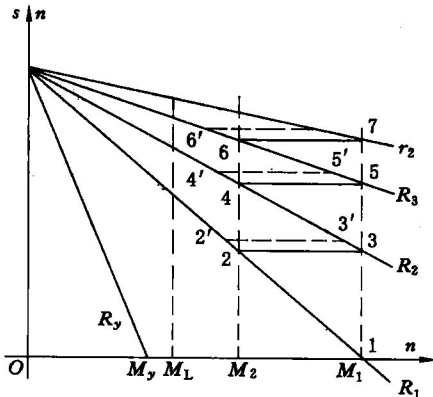


图 1-11 时间电流平行控制的电动机启动特性

(五) 转速控制

转速控制是将电动机旋转速度的变化作为控制信号而进行自动控制。电动机转速的变化可通过速度继电器或测速发电机测得,例如异步电动机反接制动时,电动机的转速被速度继电器随机测得,当转速下降到断电要求时,速度继电器动作,及时切断电源而避免电动机反转。在动力制动时根据转速的变化来切除转子电阻,用来调节制动力矩的大小。另外在自动调节系统中,可以根据给定速度与实测速度的偏差来自动调节转速。

(六) 电势或频率控制

1. 电势原则