

全国煤炭高职高专（成人）“十一五”规划教材

矿山固定设备电气控制

张建国 梁南丁 主编



Kuangshan Guding Shebei Diangqi Kongzhi

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材

内 容 简 介

矿山固定设备电气控制

张建国 梁南丁 主编

责任编辑：梁南丁
封面设计：张建国
责任印制：梁南丁
出版发行：中国矿业大学出版社
社址：江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编：221008
电话：(0516) 8388000
E-mail: cump@vip.sina.com
http://www.cump.edu.cn
印刷：徐州中印科技发展有限公司
开本：787×1092 1/16 印张 30.2 插页 1 字数 214 千字
版次：2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷
定价：39.80元

中国矿业大学出版社

林秀俊赋“正一十”(人九)步高限高类数国全

内 容 简 介

本书共六章,主要介绍煤矿提升机、通风机、空气压缩机、主排水泵和运输机械的电气控制,并对电气控制系统的元件组成、结构、原理、性能分析、常见故障、处理方法等方面进行阐述。

本书为煤炭院校矿山、机电等专业所用的统编教材,也可作为矿山工程技术人员自学和培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

矿山固定设备电气控制/张建国,梁南丁主编. —徐州:
中国矿业大学出版社,2008.1

全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材

ISBN 978 -7- 81107 - 841 - 1

I. 矿… II. ①张…②梁… III. 矿山机械—电气控制—
高等学校:技术学校—教材 IV. TD44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 013447 号

书 名 矿山固定设备电气控制

主 编 张建国 梁南丁

责任编辑 孙建波 章 毅

责任校对 周俊平

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 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 20.5 插页 1 字数 514 千字

版次印次 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

定 价 29.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

环湖出学大业国中

煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材 建设委员会成员名单

主 任:李增全

副 主 任:刘咸卫 胡卫民 刘发威 仵自连

委 员:(按姓氏笔画为序)

牛耀宏 王廷弼 王自学 王宪军

王春阁 石 兴 刘卫国 刘景山

张 军 张 浩 张贵金 李玉文

李兴业 李式范 李学忠 李维安

杜俊林 陈润叶 周智仁 荆双喜

贺丰年 郝巨才 唐又驰 高丽玲

彭志刚

秘 书 长:王廷弼 李式范

副秘书长:耿东锋 孙建波

煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材

矿山机电专业编审委员会成员名单

主 任:刘卫国

全 体 委 员

副主任:黄小广 陈 标 孙茂林

委 员:(按姓氏笔画为序)

王任远 王昌田 王金国 张建国

李虎伟 李福固 陈官兴 郝虎在

陶贵昆 梁南丁

李 忠 李 忠 李 忠

李 忠 李 忠 李 忠

李 忠 李 忠 李 忠

李 忠

李 忠 李 忠 李 忠

李 忠 李 忠 李 忠

前 言

本书是根据全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材编审委员会的要求和本课程教学大纲编写的。主要介绍煤矿大型提升机、通风机、空气压缩机、主排水泵及运输机械的电气控制,并对电气控制系统的元件组成、结构、原理、性能分析、常见故障、处理方法等内容进行系统阐述。

在编写中力求介绍的机型有代表性,尽可能反映矿山机械设备电气控制成熟的先进技术,便于学生自学和有关工程技术人员阅读参考。突出理论与实践的结合,本书各章具有一定的独立性,可以灵活拆开讲授和学习。

参加编写的人员有:河南工程学院张艳辉(第一章),平顶山工业职业技术学院董德明(第二章),平顶山工业职业技术学院杨秋鸽(第三章),杨秋鸽、张艳辉(合编第四章),河南工程学院张建国、平顶山工业职业技术学院梁南丁(合编第五章第一至第三节、第五至第九节),华北科技学院胡兴志(第五章第四节),平顶山工业职业技术学院朱荣花(第六章)。全书由张建国、梁南丁统稿。

在编写过程中得到了其他兄弟院校、中信重型机械公司等友好单位的大力支持,在此借本书出版的机会向有关单位和个人致以衷心的感谢!

由于时间紧迫及编者水平有限,错漏难免,敬请同行专家和读者提出宝贵意见。

编 者

2007年8月

第一章 矿山大型机械设备的电力拖动	1
第一节 矿山机械电力拖动的过渡过程	1
第二节 电力拖动控制原则及其基本线路	7
第三节 控制线路设计基本原则	9
第二章 矿井主要通风设备的电气控制	17
第一节 矿井主要通风设备概述	17
第二节 通风机电动机的选择	20
第三节 通风机供电要求	21
第四节 通风机常用电气控制设备的选型与技术参数	23
第五节 矿井通风机的电气控制系统	34
第六节 通风机电气控制系统常见故障分析与处理	50
第三章 矿井压气设备的电气控制	53
第一节 矿井压气设备概述	53
第二节 空气压缩机电动机的选择	54
第三节 空气压缩机供电方式的选择	55
第四节 空气压缩机的成套电气控制设备的选择	56
第五节 压气设备电气控制系统常见故障分析	76
第四章 矿井排水设备的电气控制	81
第一节 矿井排水设备概述	81
第二节 排水设备电动机的选择	82
第三节 排水设备的电气控制设备选择	83
第四节 水泵的电气控制系统	91
第五节 排水设备电气控制系统常见故障分析、检查与处理	101
第五章 矿井提升设备电气控制	102
第一节 矿井提升设备概述	102
第二节 矿井交流提升电气控制	105
第三节 提升机主电动机的选择	112
第四节 矿井交流提升机主要电气设备	114

第五节	交流拖动矿井提升机电气控制系统.....	131
第六节	矿井直流提升机拖动电气控制系统.....	202
第七节	全数字直流电气控制系统.....	223
第八节	直流提升机拖动主要电气控制设备.....	229
第九节	微拖动装置.....	233
第十节	矿井直流提升机电气控制系统常见故障检查、分析与处理	236
第六章	矿山运输设备的电气控制.....	250
第一节	矿山运输设备概述.....	250
第二节	矿用输送机的软启动方式和电气设备的选择.....	251
第三节	钢绳芯胶带输送机电气控制.....	260
第四节	钢丝绳牵引胶带输送机电气控制.....	269
第五节	矿用电机车电气设备及其控制.....	299
第六节	矿用刮板输送机电气控制.....	301
第七节	矿用带式输送机电气控制.....	305
第八节	矿用架空乘人装置电气控制.....	311
第九节	矿用无极绳连续牵引车电气控制.....	315
第十节	矿用轨道式转载机电气控制.....	321
第十一节	矿用顺槽转载机电气控制.....	325
第十二节	矿用带式输送机集中控制电气控制.....	331
第十三节	矿用带式输送机故障诊断与排除.....	335
第十四节	矿用带式输送机安全保护装置.....	341
第十五节	矿用带式输送机电气控制案例.....	345
第十六节	矿用带式输送机电气控制案例.....	351
第十七节	矿用带式输送机电气控制案例.....	355
第十八节	矿用带式输送机电气控制案例.....	361
第十九节	矿用带式输送机电气控制案例.....	365
第二十节	矿用带式输送机电气控制案例.....	371
第二十一节	矿用带式输送机电气控制案例.....	375
第二十二节	矿用带式输送机电气控制案例.....	381
第二十三节	矿用带式输送机电气控制案例.....	385
第二十四节	矿用带式输送机电气控制案例.....	391
第二十五节	矿用带式输送机电气控制案例.....	395
第二十六节	矿用带式输送机电气控制案例.....	401
第二十七节	矿用带式输送机电气控制案例.....	405
第二十八节	矿用带式输送机电气控制案例.....	411
第二十九节	矿用带式输送机电气控制案例.....	415
第三十节	矿用带式输送机电气控制案例.....	421
第三十一节	矿用带式输送机电气控制案例.....	425
第三十二节	矿用带式输送机电气控制案例.....	431
第三十三节	矿用带式输送机电气控制案例.....	435
第三十四节	矿用带式输送机电气控制案例.....	441
第三十五节	矿用带式输送机电气控制案例.....	445
第三十六节	矿用带式输送机电气控制案例.....	451
第三十七节	矿用带式输送机电气控制案例.....	455
第三十八节	矿用带式输送机电气控制案例.....	461
第三十九节	矿用带式输送机电气控制案例.....	465
第四十节	矿用带式输送机电气控制案例.....	471
第四十一节	矿用带式输送机电气控制案例.....	475
第四十二节	矿用带式输送机电气控制案例.....	481
第四十三节	矿用带式输送机电气控制案例.....	485
第四十四节	矿用带式输送机电气控制案例.....	491
第四十五节	矿用带式输送机电气控制案例.....	495
第四十六节	矿用带式输送机电气控制案例.....	501
第四十七节	矿用带式输送机电气控制案例.....	505
第四十八节	矿用带式输送机电气控制案例.....	511
第四十九节	矿用带式输送机电气控制案例.....	515
第五十节	矿用带式输送机电气控制案例.....	521
第五十一节	矿用带式输送机电气控制案例.....	525
第五十二节	矿用带式输送机电气控制案例.....	531
第五十三节	矿用带式输送机电气控制案例.....	535
第五十四节	矿用带式输送机电气控制案例.....	541
第五十五节	矿用带式输送机电气控制案例.....	545
第五十六节	矿用带式输送机电气控制案例.....	551
第五十七节	矿用带式输送机电气控制案例.....	555
第五十八节	矿用带式输送机电气控制案例.....	561
第五十九节	矿用带式输送机电气控制案例.....	565
第六十节	矿用带式输送机电气控制案例.....	571
第六十一节	矿用带式输送机电气控制案例.....	575
第六十二节	矿用带式输送机电气控制案例.....	581
第六十三节	矿用带式输送机电气控制案例.....	585
第六十四节	矿用带式输送机电气控制案例.....	591
第六十五节	矿用带式输送机电气控制案例.....	595
第六十六节	矿用带式输送机电气控制案例.....	601
第六十七节	矿用带式输送机电气控制案例.....	605
第六十八节	矿用带式输送机电气控制案例.....	611
第六十九节	矿用带式输送机电气控制案例.....	615
第七十节	矿用带式输送机电气控制案例.....	621
第七十一节	矿用带式输送机电气控制案例.....	625
第七十二节	矿用带式输送机电气控制案例.....	631
第七十三节	矿用带式输送机电气控制案例.....	635
第七十四节	矿用带式输送机电气控制案例.....	641
第七十五节	矿用带式输送机电气控制案例.....	645
第七十六节	矿用带式输送机电气控制案例.....	651
第七十七节	矿用带式输送机电气控制案例.....	655
第七十八节	矿用带式输送机电气控制案例.....	661
第七十九节	矿用带式输送机电气控制案例.....	665
第八十节	矿用带式输送机电气控制案例.....	671
第八十一节	矿用带式输送机电气控制案例.....	675
第八十二节	矿用带式输送机电气控制案例.....	681
第八十三节	矿用带式输送机电气控制案例.....	685
第八十四节	矿用带式输送机电气控制案例.....	691
第八十五节	矿用带式输送机电气控制案例.....	695
第八十六节	矿用带式输送机电气控制案例.....	701
第八十七节	矿用带式输送机电气控制案例.....	705
第八十八节	矿用带式输送机电气控制案例.....	711
第八十九节	矿用带式输送机电气控制案例.....	715
第九十节	矿用带式输送机电气控制案例.....	721
第九十一节	矿用带式输送机电气控制案例.....	725
第九十二节	矿用带式输送机电气控制案例.....	731
第九十三节	矿用带式输送机电气控制案例.....	735
第九十四节	矿用带式输送机电气控制案例.....	741
第九十五节	矿用带式输送机电气控制案例.....	745
第九十六节	矿用带式输送机电气控制案例.....	751
第九十七节	矿用带式输送机电气控制案例.....	755
第九十八节	矿用带式输送机电气控制案例.....	761
第九十九节	矿用带式输送机电气控制案例.....	765
第一百节	矿用带式输送机电气控制案例.....	771

第一章 矿山大型机械设备的电力拖动

第一节 矿山机械电力拖动的过渡过程

一、电力拖动系统的运动方程式

电动机能够根据电磁原理实现电能和机械能相互转换或电能特性变换,是工矿企业、交通运输、国防等国民经济各个部门和千家万户广泛采用的一种动力机械。电动机种类繁多,分类方法各不相同。不同的生产工艺过程对电力拖动系统有不同的要求,例如矿井水泵只要求单向恒速转动,而矿井提升机则要求双向可逆运行、频繁的启(制)动以及必要的调速操作。

在生产上主要用的是交流电动机,特别是三相异步电动机。仅在需要均匀调速以及某些电力牵引和起重设备中才采用直流电动机。同步电动机主要应用于功率较大、不需要调速、长期工作的各种生产机械,如压缩机、水泵、通风机等。此外,在高精度、高速度的机电一体化产品中还用到各种控制电机,这些控制电机用作执行元件或信号传递、变换元件等。

电力拖动是用以实现生产过程机械设备电气化及其自动控制的电气设备及系统的技术总称。其控制系统通常是由拖动工作机械的电动机及其控制装置组成。它能按照规定的指令或程序,及时地控制电动机的启动、制动、运转方向及工作转速等,以满足工作机械及生产工艺的要求。它所用的电动机种类很多,生产机械的性质也各不相同,但从动力学的角度看,它们都服从动力学的统一规律。因此,需要找出它们普遍的运动规律进行分析。首先研究电力拖动系统的动力学,建立电力拖动系统的运动方程式。

(一) 单轴拖动系统的运动方程式

在各种结构形式的电力拖动系统中,电动机的轴与生产机械的旋转机构直接相连的单轴系统是最基本的一种。所谓单轴拖动系统是指电动机输出轴直接拖动生产机械运转的系统,如图 1-1 所示。

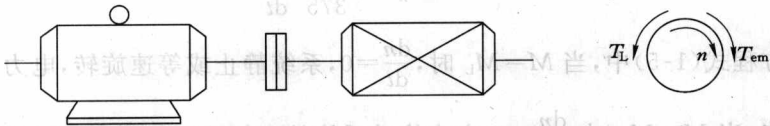


图 1-1 单轴电力拖动系统及轴上转矩

根据牛顿第二定律,物体做直线运动时,作用在物体上的拖动力 F 总是与阻力以及速度变化时产生的惯性力 ma 所平衡,其运动方程式为

$$F - F_L = ma \tag{1-1}$$

式中 F ——拖动力, N;

F_L ——阻力, N;

a ——物体获得的加速度, m/s^2 。

上式也可写成

$$F - F_L = m \frac{dv}{dt} \quad (1-2)$$

式中 $m \frac{dv}{dt}$ ——惯性力, N;

m ——运动物体的质量, kg;

v ——物体运动的线速度, m/s 。

与直线运动相似, 根据力学定律可得到做旋转运动的单轴系统的运动方程式为

$$M - M_L = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1-3)$$

式中 M ——电动机产生的电磁转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

M_L ——负载转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

$J \frac{d\omega}{dt}$ ——惯性转矩(或称为加速转矩), $\text{N} \cdot \text{m}$;

J ——旋转物体的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$;

ω ——旋转物体的旋转角速度, rad/s 。

在旋转运动方程式(1-3)中, 转动惯量 J 可表示为

$$J = m\varphi^2 = \frac{GD^2}{4g} \quad (1-4)$$

式中 m ——旋转部分的质量, kg;

G ——旋转部分的重量, N;

φ ——惯性半径, m;

D ——惯性直径, m;

GD^2 ——飞轮矩, $\text{N} \cdot \text{m}^2$;

g ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

若将角速度 $\omega = 2\pi n/60$ 和式(1-4)代入式(1-3)中, 可得到旋转运动方程式的实用表达式为

$$M - M_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (1-5)$$

在实用方程式(1-5)中, 当 $M = M_L$ 时, $\frac{dn}{dt} = 0$, 系统静止或等速旋转, 电力拖动系统处于稳定运行状态; 当 $M > M_L$ 时, $\frac{dn}{dt} > 0$, 电力拖动系统处于加速运行状态, 是过渡过程; 当 $M < M_L$ 时, $\frac{dn}{dt} < 0$, 电力拖动系统处于减速运行状态, 也是过渡过程。

由此可知, 系统在 $M = M_L$ 稳定运行时, 一旦受到外界的干扰, 平衡被打破, 转速将会变化。对于一个稳定系统来说, 要求具有恢复平衡状态的能力。当 $M \neq M_L$ 时, 系统处于加速或减速运动状态, 其加速度或减速度 $\frac{dn}{dt}$ 与飞轮矩 GD^2 成反比。飞轮矩 GD^2 越大, 系统惯性

越大,转速变化就越小,系统稳定性好,灵敏度低;飞轮矩 GD^2 越小,系统惯性越小,转速变化越大,系统稳定性差,灵敏度高。

在电力拖动系统中,随着生产机械负载类型和工作状况的不同,电动机的运行状态将发生变化,即作用在电动机转轴上的电磁转矩(拖动转矩) M 和负载转矩(阻力转矩) M_L 的大小和方向都可能发生变化。惯性转矩的大小及正、负号由 M 和 M_L 之和的代数和决定。因此运动方程式(1-3)中的转矩 M 和 M_L 是带有正、负号的代数量。在应用运动方程式时,必须考虑转矩、转速的正负号,因此常将运动方程式写成如下的形式

$$\pm M - (\pm M_L) = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (1-6)$$

一般规定如下:

(1) 首先选定顺时针或逆时针中的某一个方向为规定正方向,为减少公式中的负号,一般多以电动机处于电动状态时的旋转方向为规定正方向。

(2) 转速的方向与规定正方向相同时为正,相反时为负。

(3) 电磁转矩的方向与规定正方向相同时为正,相反时为负。

(4) 负载转矩与规定正方向相反时为正,相同时为负,如图 1-2 所示。

(二) 多轴拖动系统中的运动方程式

电动机为节省材料,一般转速较高,而生产机械的工作速度较低。因此,实际的生产机械大多是电动机通过传动装置与工作机构相连。常见的传动装置有齿轮减速箱、蜗轮蜗杆、胶带轮等。图 1-3 为某一机械装置的传动系统图,由图可以看出,在电动机和工作机构之间要经过多根轴传动,所以生产实际中的电力拖动系统多数都为多轴电力拖动系统。

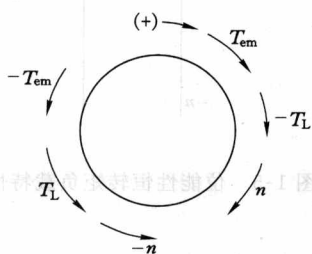


图 1-2 正方向规定

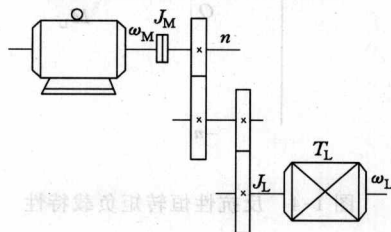


图 1-3 多轴拖动系统示意图

对于多轴电力拖动系统,因为在不同的轴上具有各自不同的转动惯量和转速,则需要对每根轴分别写出运动方程式、各轴间相互关系的方程式,并根据传动功率相等的原则联系,联立求解。显然这是较复杂的,而对电力拖动系统来说,一般不需要详细研究每根轴的问题,而只把电动机的轴作为研究对象即可。

二、直线型机械特性恒定负载转矩下的过渡过程

上面讨论的传动系统运动方程中,负载转矩可能是不变的常数,也可能是转速 n 的函数。同一转轴上负载转矩和转速之间的函数关系,称为生产机械的机械特性。为便于和电动机的机械特性配合起来分析传动系统的运行情况,今后提及生产机械的机械特性时,除特别说明外,均指电动机轴上的负载转矩和转速之间的函数关系。不同类的生产机械在运动中受阻力的性质不同,其机械特性曲线的形状也有所不同,大体上可以归纳为以下三种典型

的机械特性。

(一) 恒转矩负载特性

恒转矩负载是指负载转矩 M_L 的大小与转速 n 无关,即当转速变化时,负载转矩 M_L 保持为常值。根据转矩的方向是否与转动方向有关,恒转矩负载可分为反抗性恒转矩负载和位能性恒转矩负载。

1. 反抗性恒转矩负载

反抗性恒转矩负载的特点是负载转矩 M_L 的方向总是与转动方向相反,总是阻碍电动机的运转,其特性如图 1-4 所示。图中,当负载转动方向改变时,负载转矩的方向也随着改变,永远是阻力矩。根据运动方程式中正负号的确定原则可知,反抗性恒转矩负载特性应画在第一和第三象限。胶带输送机、轧钢机和机床的刀架平移机构等由摩擦力产生转矩的机械都属于反抗性恒转矩负载。

2. 位能性恒转矩负载

位能性恒转矩负载的特点是负载转矩 M_L 具有固定的方向,不随转动方向的改变而改变,其特性如图 1-5 所示。同理,根据运动方程式中正负号的确定原则,位能性恒转矩负载特性应画在第一和第四象限。这类特性的负载转矩是由物体的重力或弹性体的压缩、拉伸等作用产生的,例如起重机提升重物和下放重物时,负载转矩方向不变。

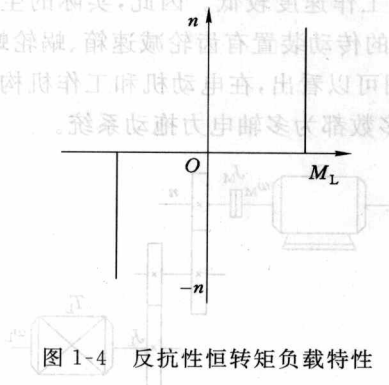


图 1-4 反抗性恒转矩负载特性

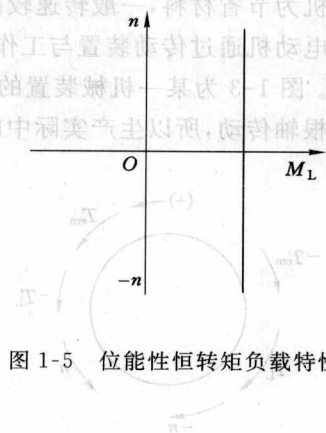


图 1-5 位能性恒转矩负载特性

(二) 通风机类负载特性

通风机类负载转矩 M_L 与转速 n 的大小有关,且基本上与转速 n 的平方成正比,即 $M_L = Kn^2$,其中 K 为比例系数。其负载特性如图 1-6 所示。图中只在第一象限画出转速为正时的特性,当转速为负时,特性应在第三象限,且与第一象限的特性曲线对称。

属于通风机类负载的生产机械有通风机、水泵、油泵等。

(三) 恒功率负载特性

恒功率负载的特点是在不同转速下,负载从电动机吸收的功率 P_L 为恒定值,即

$$P_L = M_L \omega = M_L \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi}{60} M_L n = K_1 \quad (1-7)$$

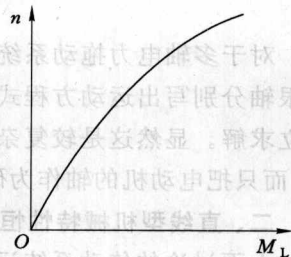


图 1-6 通风机类负载特性

式中 K_1 ——常数。

由式(1-7)可得负载转矩 M_L 与转速 n 成反比,即

$$M_L = K/n \quad (1-8)$$

式中 K ——常数。

由式(1-7)和式(1-8)可知,当负载功率 P_L 不随转速 n 变化时,负载转矩 M_L 与转速 n 成反比,其负载特性如图 1-7 所示。例如,车床粗加工时,切削量大,切削阻力大,电动机运行在低速状态;而在精加工时,切削量小,切削阻力小,但对加工表面精度要求高,电动机应工作在高速状态。另外,这里也只画出转速为正时的特性,在第一象限;当转速为负时,恒功率负载特性曲线应在第三象限,与第一象限的特性曲线对称。

实际生产机械的负载转矩特性可能是单一类型的负载特性,也可能是上述几种典型特性的综合。例如通风机,除主要的通风机类负载特性外,轴承上还承受一定的摩擦转矩,因而实际的通风机负载特性为 $M_L = M_0 + K n^2$,其中 M_0 为恒摩擦转矩。其负载特性曲线如图 1-8 所示。

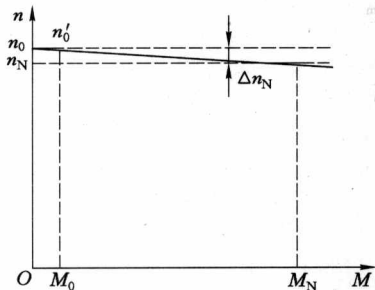


图 1-7 恒功率负载特性

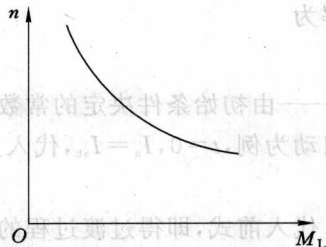


图 1-8 实际通风机类负载特性

三、机电传动系统过渡过程

电力拖动的过渡过程指的是从一个稳定工作状态过渡到另一个稳定工作状态的过程。过渡过程前后两个稳定状态电动机的电枢电流 I_a 、电磁转矩 T 和转速 n 一般是不相同的,过渡过程就是要研究 I_a 、 T 和 n 在该过程中随时间变化的规律。这些变化规律曲线称为负载图。

产生电力拖动系统过渡过程的外因是系统受到外部干扰,例如启动、制动、反转、调速及负载突变等。内因是系统本身的惯性,惯性主要有两种,机械惯性和电磁惯性,前者使转速不能突变,后者使电流不能突变。实际上两种惯性同时存在,但由于电磁惯性的影响远小于机械惯性的影响,为分析方便起见,忽略电磁惯性的影响,只考虑机械惯性,这种过渡过程称为机械过渡过程。

(一) 机械过渡过程方程式

图 1-9 表示他励直流电动机启动的原理图。忽略电枢反应的影响, $\Phi = \Phi_N = \text{常数}$, 可列电动势平衡方程式,即

$$U = E_a + I_a R = C_N \Phi_N n + I_a R \quad (1-9)$$

$$n = \frac{U - I_a R}{C_N \Phi_N} \quad (1-10)$$

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{R}{C_N \Phi_N} \frac{dI_a}{dt} \quad (1-11)$$

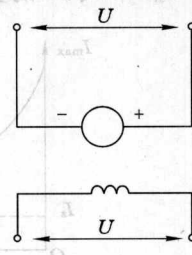


图 1-9 他励直流电动机启动原理图

代入运动方程式,得

$$T - T_z = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (1-12)$$

$$T = T_z - \frac{GD^2}{375} \frac{R}{C_N \Phi_N} \frac{dI_a}{dt} \quad (1-13)$$

两边同时除以 $G_t \Phi_N$, 可得

$$I_a = I_z - \frac{GD^2}{375} \frac{R}{C_N G_t \Phi_N^2} \frac{dI_a}{dt} = I_z - T_{tm} \frac{dI_a}{dt} \quad (1-14)$$

式中 $I_z = \frac{T_z}{G_t \Phi_N}$ —— 负载转矩对应的负载电流;

$T_{tm} = \frac{GD^2 R}{C_N G_t \Phi_N^2 \times 375}$ —— 机电时间常数。

上式可改写为

$$\frac{dI_a}{dt} + \frac{I_a}{T_{tm}} = \frac{I_z}{T_{tm}} \quad (1-15)$$

其解为

$$I_a = I_z + k e^{-\frac{t}{T_{tm}}} \quad (1-16)$$

式中 k —— 由初始条件决定的常数。

以启动为例, $t=0, I_a = I_{st}$, 代入上式可得

$$k = I_{st} - I_z \quad (1-17)$$

将 k 代入前式, 即得过渡过程的电流方程式

$$I_a = I_z + (I_{st} - I_z) e^{-\frac{t}{T_{tm}}} \quad (1-18)$$

式中 I_z —— 电流的稳态分量;

$(I_{st} - I_z) e^{-\frac{t}{T_{tm}}}$ —— 电流的暂态分量, 又称自由分量。

启动过程中电流 I_a 的变化曲线 $I_a = f(t)$ 如图 1-10 所示。电流方程式两边同乘以 $G_t \Phi_N$, 即可得转矩方程式

$$T_a = T_z + (T_{st} - T_z) e^{-\frac{t}{T_{tm}}} \quad (1-19)$$

可见 $T = f(t)$ 与 $I_a = f(t)$ 形状相同。

同理可得转速方程式

$$n_a = n_z + (n_{st} - n_z) e^{-\frac{t}{T_{tm}}} \quad (1-20)$$

$n_{st}=0$ 时, n 的变化曲线如图 1-11 所示。

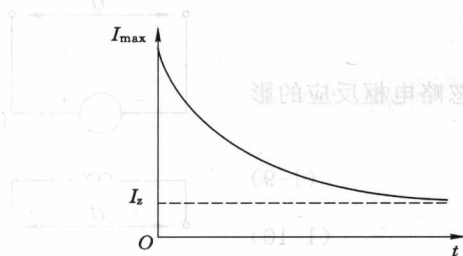


图 1-10 启动过程中电枢电流的变化曲线 $I_a = f(t)$

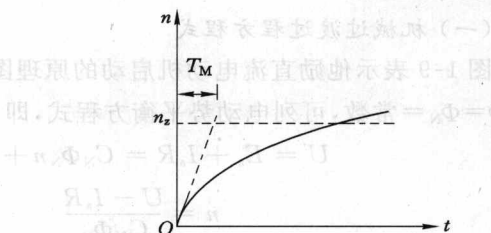


图 1-11 启动中转速的上升曲线 $n = f(t)$

以上所得三个方程式虽是以启动为例推导而得,实际上就是电力拖动系统过渡过程的通用方程式。只要把 I_{st} 、 T_{st} 和 n_{st} 理解为过渡过程的起始值,把 I_z 、 T_z 和 n_z 理解为过渡过程的稳态值, I_a 、 T 和 n 为对应于时间 t 时的瞬时值,即

$$T_{tm} = \frac{GD^2 R}{C_N G_1 \Phi_N^2 \times 375} \quad (1-21)$$

(二) 机电时间常数

其大小不但与反映机械惯性的飞轮矩 GD^2 成正比,还与电动机的电磁量 R 和 Φ_N 有关,故称为机电时间常数。以 n 为例,其物理意义为如果保持 $t=0$ 时的加速度 $\left. \frac{dn}{dt} \right|_{t=0}$ 不变,转速由起始值 n_{st} 上升或下降到稳态值 n_z 所需的时间。实际上,由于 n 的加速度是逐步变小的,所以只有当 $t=(3\sim 4)T_{tm}$ 时,才可认为过渡过程结束,即达稳定状态。

(三) 过渡过程持续时间的计算

设 $t=0$ 时 $I_a = I_{st}$; $t=t_x$ 时 $I_a = I_{ax}$ 。则可得

$$I_{ax} = I_z + (I_{st} - I_z)e^{-\frac{t_x}{T_{tm}}}$$

将此式对 t_x 求解,可得持续时间 $t_x = T_{tm} \ln \frac{I_{st} - I_z}{I_{ax} - I_z}$,同理可得

$$t_x = T_{tm} \ln \frac{T_{st} - T_z}{T_x - T_z}, t_x = T_{tm} \ln \frac{n_{st} - n_z}{n_x - n_z}$$

式中, I_{st} 、 T_{st} 、 n_{st} 为起始值, I_z 、 T_z 、 n_z 为稳态值, I_{ax} 、 T_x 、 n_x 为所求过渡过程的终值。

对于电枢串多级电阻启动的过渡过程,可以分级用上述方法求取,总的启动时间为各级启动时间的总和,最后一级的启动时间为 $(3\sim 4)T_{tm}$ 。

第二节 电力拖动控制原则及其基本线路

一、行程控制原则

电动机根据工作部件的预定行程,对拖动电动机进行控制的方法称为行程控制原则。行程控制原则是生产机械电气自动化中应用最多和作用原理最简单的一种方式。例如起重机的限位保护要求工作部件——起重机的起重臂、吊钩等运行到某一最大、最小幅度,或最高最低高度时能自动停止,对电动机而言就是要自动断电制动。

行程控制的控制电路如图 1-12 所示。

为了使电动机的正反转控制与工作台的左右运动相配合,在控制线路中设置了两个行程开关 SQ_1 、 SQ_2 ,这两个开关用来自动控制换接电动机正反转控制电路,实现工作台的自动往返行程控制。在工作台边的 T 形槽中装有两块挡块,挡块 1 只能和 SQ_1 相碰撞,挡块 2 只能和 SQ_2 相碰撞。当工作台运动到所限位置时,挡块碰撞行程开关,使其触头动作,自动换接电动机正反转控制电路,通过机械传动机构使工作台自动往返运动。工作台行程可通过移动挡块位置来调节,拉开两块挡块间的距离,行程就长,反之则短。

二、电流控制原则

当电动机电流变化到某一预定值时,换接控制电路以改变电动机的运行状态即根据电动机主电流的大小,利用电流继电器来控制电动机的工作状态,叫做电流控制原则。例如直

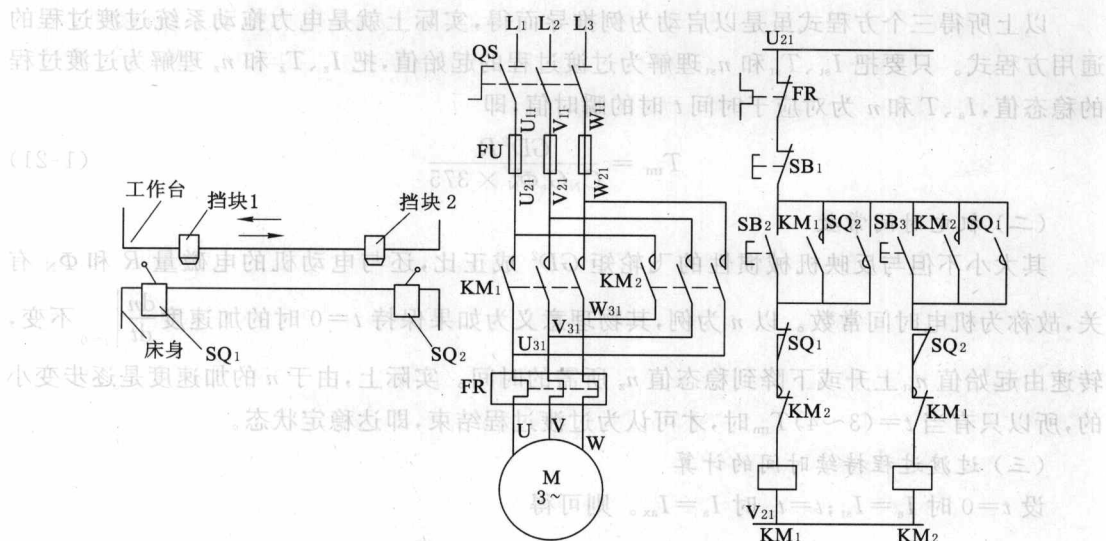


图 1-12 行程控制的控制电路

流电动机枢回路串电阻启动过程中随转速增加电流减小,为保证足够的启动转矩,启动过程中电流不能太小,根据电流的变化逐段切除启动电阻,以保证启动过程中电流在某一范围变化,从而保证启动转矩的需要。按电流原则控制,当电流减小到某一数值,不能再减了就切除一级电阻使电流回升,例如过流保护。

电流原则控制的控制线路如图 1-13 和图 1-14 所示。

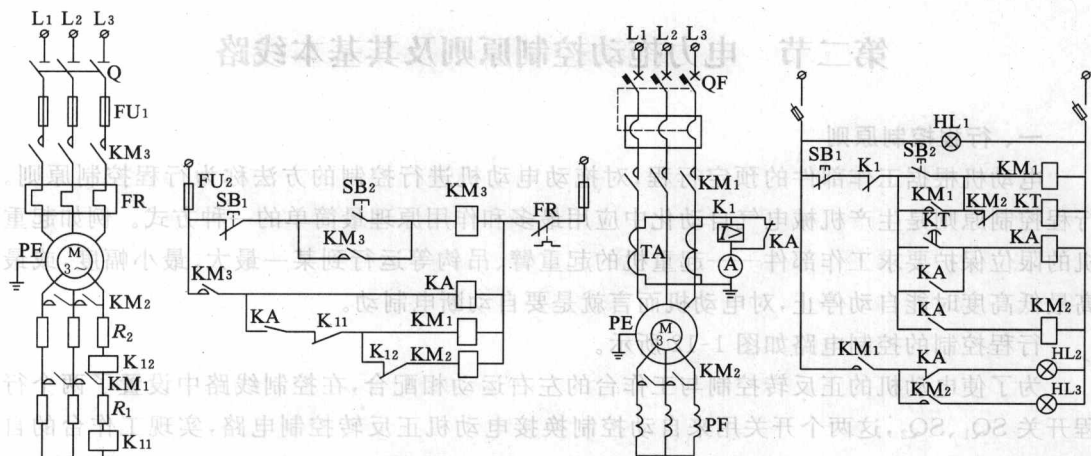


图 1-13 电动机按电流原则控制的启动线路

图 1-14 电动机的过电流保护电路

三、速度控制原则

根据电动机的转速变化,利用速度继电器等电器来转换控制电路而改变电动机的运行状态,叫做速度控制原则。当电动机能耗制动速度小于 100 r/min 时需切断励磁电流自由停车。当电动机反接制动时速度接近 0 时需切断电源及时停车。以上均属按速度原则控制

电动机的运行状态。

速度控制的控制线路如图 1-15 和图 1-16 所示。

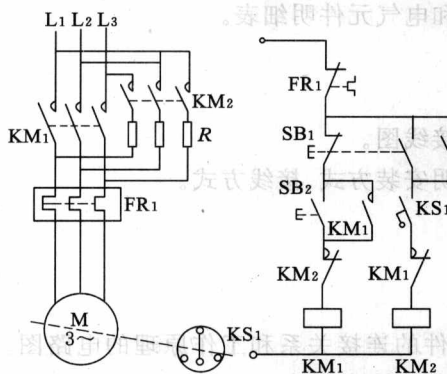


图 1-15 电动机按速度原则控制的能耗制动电路图

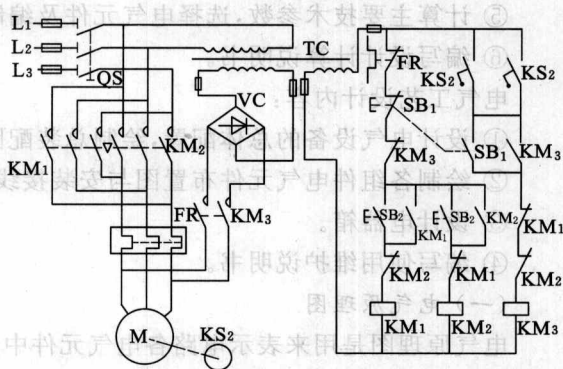


图 1-16 电动机按速度原则控制的反接制动电路

四、时间控制原则

根据时间的变化来控制电动机的运行状态叫做时间控制原则。星—三角降压启动：启动时接成星形，过一定时间启动结束接成三角形。直流电动机和绕线式异步电动机各级启动电阻的切除是过一定时间切除一级，以上同属按时间原则控制。如图 1-17 和图 1-18 所示。

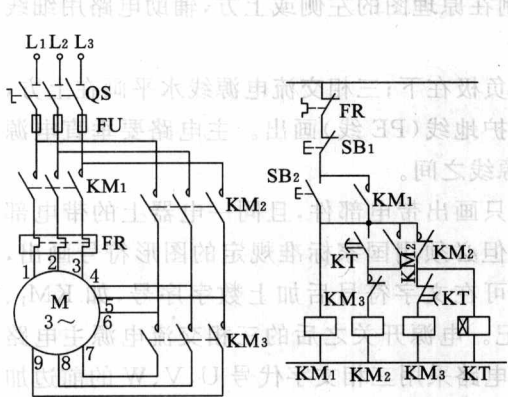


图 1-17 时间控制的星—三角启动

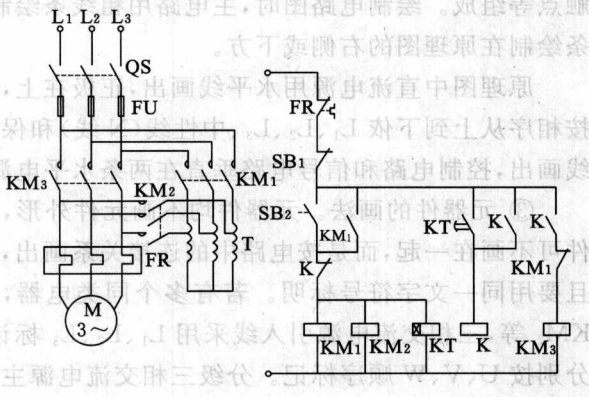


图 1-18 时间控制的自耦变压器降压启动

第三节 控制线路设计基本原则

一、对控制线路的基本要求

控制线路设计包括原理设计和工艺设计两部分。

电气原理图设计内容：

① 拟定电气设计任务书。

② 选择电力拖动方案和控制方式。