



煤炭技工学校“十一五”规划教材

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

矿井提升机拖动与控制技术

KUANGJING TISHENGJI TUODONG YU KONGZHI JISHU

煤炭工业出版社

煤炭技工学校“十一五”规划教材

矿井提升机拖动与控制技术

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

前 言

为适应煤炭工业新形势对煤炭职业教育和职工培训工作的要求，加快煤炭职业教育教材建设步伐，坚持“改革创新、突出特色、提高质量、适应发展”的指导思想，完成“创新结构、配套专业、完善内容、提高质量”的工作任务，中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会于2004年5月份召开了第一次全体会议，对煤炭行业职业教育教材建设工作提出了具体意见和要求。经过几年的工作，煤炭行业职业教育教材建设工作进展顺利，煤炭行业职业教育教材建设“十一五”规划已经完成，新的教学方法研究和新的教材开发都取得了可喜成绩。一套“结构科学、特色突出、专业配套、质量优良”的煤炭技工学校通用教材正在陆续出版发行，将为煤炭职业教育的不断发展提供有力的技术支持。

这套教材主要适用于煤炭技工学校教学及工人在职培训、就业前培训，也适合具有初中文化程度的工人自学和工程技术人员参考。

《矿井提升机拖动与控制技术》是这套教材中的一种，是根据经劳动和社会保障部批准的全国煤矿技工学校统一教学计划、教学大纲的规定编写的，经中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会审定，并认定为合格教材，是全国煤炭技工学校教学，工人在职培训、就业前培训的必备的统一教材。

本教材由辽北技师学院韩文东、史峰同志主编，另外，在本教材的编写过程中，得到了有关煤炭技工学校的广大教师和煤矿企业有关工程技术人员的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，书中难免有不当之处，恳请广大读者批评指正。

中国煤炭教育协会职业教育教材
编审委员会

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会

名誉主任	朱德仁					
主任	邱江					
常务副主任	刘富					
副主任	刘爱菊	吕一中	肖仁政	张西月	郝临山	魏焕成
	曹允伟	仵自连	桂和荣	雷家鹏	张贵金	韩文东
	李传涛	孙怀湘	程建业			
秘书长	刘富（兼）					
	（按姓氏笔画为序）					
主 编	牛宪民	王枕	王明生	王树明	王朗辉	甘志国
	白文富	仵自连	任秀志	刘爱菊	刘富	吕一中
	孙怀湘	孙茂林	齐福全	何富贤	余传栋	吴丁良
	张久援	张先民	张延刚	张西月	张贵金	张瑞清
	李传涛	肖仁政	辛洪波	邱江	邹京生	陈季言
	屈新安	林木生	范洪春	侯印浩	赵杰	赵俊谦
	郝临山	夏金平	桂和荣	涂国志	曹中林	梁茂庆
	曾现周	温永康	程光岭	程建业	董礼	谢宗东
	谢明荣	韩文东	雷家鹏	题正义	魏焕成	
	韩文东	史峰				

内 容 提 要

本书是煤炭技工学校“十一五”规划教材中的一本，主要介绍了矿井提升机电力拖动的有关知识、交流绕线式异步电动机拖动、矿井提升设备主要检测元件、矿井提升机主要电气设备、交流提升机经典控制系统、矿井提升机现代控制技术，以及矿井提升机现代控制系统等内容。

本书适用于煤炭技工学校教学及工人在职培训、就业前培训，也适合具有初中文化程度的工人自学和工程技术人员参考。

目 次

第一章 矿井提升机电力拖动的有关知识	1
第一节 提升控制概述	1
第二节 矿井提升机特点及提升拖动装置	4
第二章 交流绕线式异步电动机拖动	14
第一节 提升机绕线式交流异步电动机电阻调速方式	14
第二节 交流拖动提升机的减速与爬行控制	22
第三章 矿井提升设备主要检测元件	28
第一节 磁放大器	28
第二节 自整角机	36
第三节 测速发电机	41
第四节 传感器件	48
第四章 矿井提升机主要电气设备	57
第一节 高压控制装置	57
第二节 电阻切换装置及动力制动设备	64
第三节 交-交变频设备	68
第五章 交流提升机经典控制系统	82
第一节 经典交流提升电气控制线路	82
第二节 提升信号	96
第六章 矿井提升机现代控制技术	102
第一节 转子电阻不平衡多级编码系统	102
第二节 串级调速系统	108
第三节 变频调速系统	114
第七章 矿井提升机现代控制系统	130
第一节 PLC 组成的控制系统	130
第二节 现代化矿井提升系统中的 PLC 控制程序简介	144
第三节 现代化矿井提升系统的监控	149
参考文献	153

第一章 矿井提升机电力拖动的有关知识

[教学目标]

了解提升系统的重要性，了解提升机的几种拖动方式及特点，对提升机拖动产生一个整体印象

[知识要点]

1. 直流电动机拖动的特点
2. 交流电动机拖动的特点
3. 同步电动机拖动的特点
4. 矿井提升系统的基本要求

[技能要点]

绘制直流电动机拖动和交流异步电动机拖动的特性曲线

第一节 提升控制概述

[课程内容]

矿井提升设备是沿井筒（包括斜坡及盲井）升降人员，提升煤炭、矿石、器材的机械设备。按提升方式及系统的不同，有钢丝绳（缠绕式提升机和摩擦式提升机）提升、输送机提升、水力提升及气力提升（松散煤炭管道提升及管道容器提升）等。目前在世界范围内，矿井主要使用由缠绕式提升机和摩擦式提升机带动钢丝绳牵引容器的提升设备，其他类型提升方式只在特定条件下使用。例如，水力提升只用于水采矿井的煤炭提升，气力提升散装物料（或管道容器）仅在国外的个别矿井改造中有应用。

一、提升设备发展历程

自 1872 年出现第一台由蒸汽机拖动的单绳缠绕式提升机以来，矿井提升设备的发展已有近 140 年的历史。随着生产需求的变化和技术的进步，提升设备不断发展：1877 年德国人戈培设计出第一台单绳摩擦式提升机；1938 年多绳摩擦提升设备问世，满足了深井提升的需求；1958 年多绳缠绕式提升机在南非超千米的矿井使用；1988 年德国安装了第一台置同步电动机于摩擦轮内的内装式提升机。

现代提升设备由大型机械—电气机组组成，提升容器在有限的运距（提升高度）内往返高速运行，速度及加、减速度要求严格而准确的控制。因此，除传力、承力及运载机械部件外，还必须配备完善的拖动控制、安全监测及井筒信号等系统和设备。

当今在世界范围内运行的提升机，最大速度达 $20 \sim 25\text{m/s}$ ，一次提升量达 50t；电动机容量已超过 10000kW，井深超过 2000m（分段提升超过 3600m）。由于矿井生产的强化

和集中化，一些矿井为了满足生产量及不同提升任务的要求，常在1个井筒安装多台提升机——机群。例如，瑞典的基鲁那矿在1个矩形提升塔上安装12台多绳摩擦式提升机，采用集中控制。

随着现代技术进步及采矿工业的发展，提升设备在机械结构、工艺、设计理论及方法、拖动控制及安全监测等方面都有了很大发展。例如，中低压及中高压盘式闸及液压站、硬齿面行星齿轮传动等的应用；内装式同步电动机主轴装置的问世；利用系统工程方法进行提升系统方案设计及改造；提升系统的模块化及仿真都取得了较新的成就；拖动类型除异步电动机拖动调速、直流电动机拖动调速外，交-交变频器供电同步电动机拖动方式已在大型提升机中应用；由可编程序控制器（PLC）构成的提升工艺控制、安全回路、监视回路、行程控制器、制动控制，以及井筒信号系统已有典型产品。

中国幅员辽阔，矿产丰富，煤炭产量居世界前列，其中近95%是以井下开采方式开采的，需要通过提升设备提到地面以实现其使用价值。作为生产的基本环节，提升设备的合理结构及设计、安全经济运行和科学管理维护，直接关系到矿井生产能力及技术经济指标。

二、现代科学技术在提升控制系统中的应用

1. 现代电力电子与电力传动技术在现代矿井提升中的应用

随着煤矿向一矿一面方向发展，设备则向大型化、大功率化方向发展，因而对电能也提出了新的更高的要求。电力电子技术是借助于半导体功率器件对电能进行转换、控制和优化利用的技术。近年来电力电子技术迅猛发展，已由20世纪50年代的SCR（晶闸管）发展到80年代的GTR（电力晶体管）、MOSFET（电力场效应晶体管）及现在的第三代电力电子器件IGBT（绝缘栅双极晶体管）。目前，电力电子器件的功率越来越大，开关频率越来越高。例如，IGBT具有很高的门极阻抗，电流密度比MOSFET大10倍，比GTR大2倍，工作频率可达20kHz以上。此外，第三代电力电子器件还将高电压、大电流的功率器件与起控制作用的数字电路、逻辑电路、保护电路及传感检测电路（强、弱电）集成在一起，可以直接接受控制信号并对其进行传递和变换处理以达到控制目的，是一种智能功率器件。

电力电子技术在煤矿中主要用于交、直流电动机调速。其中，交流电动机因其具有结构简单、易于维护等优点得到广泛应用。过去因交流电动机调速性能差、能耗大而受到限制，现代交流调速系统性能已达到了直流调速系统的水平，它具有节能、高效的特点，与直流调速系统相比节省材料、空间和运行费用，成为电力传动及其学科领域发展最快、成果最多的热点，在矿井提升系统中得到大量应用。电力电子技术较早就用于矿井提升机的传动，并且发展迅速，从20世纪60年代的模拟控制SCR-D直流提升机发展到目前最先进的同步机内装式交-交变频提升机。后者主回路和磁场回路均采用电力电子器件实现变频和整流。由于采用交流电动机，没有电刷问题，提升机容量可以大幅度增加。例如，南非帕拉波矿井内装式提升机电机功率达6300kW，我国东欢坨、大雁、陈四楼等矿也均引进了内装式提升机。目前，由全数字电力电子器件构成的国产直流提升机已占领了国内市场，并开始出口。

2. 机电一体化技术在现代矿井提升中的应用

矿井提升机是实现机电一体化较好的矿山大型设备，全数字化交、直流提升机，尤其是内装式提升机从结构上将滚筒和驱动合为一个整体，机械结构大大简化，是典型的机电一体化设备，是机械—电力电子—计算机—自动控制的综合体。全数字提升机高度可靠，具有可重复性，具有故障寻址、完整的诊断设施和自诊断功能，以及简单而快速的通信功能；采用总线方式，大大简化电气安装；硬件配置简单、互相兼容、零备件少；可以方便地实现软启动、软件控制和改变瞬时加速度。

“九五”期间，国产全数字化直流提升机已成为煤矿提升机的首选机型。其中我国研制成功的具有自主知识产权的全数字化直流提升机，其核心部分 ASCS 是由双 CPU 构成的计算机系统。由于采用了计算机技术，提升机的安全保护系统更为完善。其特点是：采用 2 台计算机装置，每台都有自己独立的测量、传感装置和数据处理系统，它们同步工作，互相检测，互为备用，通过对提升行程实现直接测量和间接测量容器位置相结合的方式，对两者进行比较、校正，实现行程自动控制。由于采用了计算机对安全回路、制动回路、电源和驱动回路进行实时监测，实现故障记忆，因此提升机安全性能大大提高。

此外，我国还应用 SIMADYND（西门子公司的 SIMADYND 全数字调速系统）和 S7（西门子公司的 PLC）研制成功交—交变频器供电的交流提升机。该系统于 2000 年在焦作古汉山矿投入运行，运行情况良好。

三、矿井提升对拖动系统的基本要求

为了更好地开采和利用煤炭资源，使煤矿向着大型和超大型方向发展，随着煤炭企业生产规模的不断扩大，矿井产量的不断提高，对矿井提升系统的要求也不断提高。因此，矿井提升对拖动系统的要求是：

（1）拖动功率要足够大。提升机是矿井生产中功率最大的设备之一；提升煤炭的重量由十几吨到几十吨，提升速度也大大增加。

（2）生产效率要高。过去提升电动机的功率大都在 1000kW 以下，电动机调速装置采用向转子绕线式交流异步电动机的转子回路中串接电阻的方法，在启动和低速运行时，大量的电能消耗在电阻上，使能源浪费，原煤成本增加。现在提升机的功率大都超过 2000kW，因此，可采用直流电动机提升系统或采用变频拖动交流电动机提升系统，后者目前得到了大力推广与发展。

（3）控制平稳，安全可靠。安全第一是煤炭企业奉行的最高职责，矿井提升机担负着全矿煤炭生产的运输任务，提升系统的安全性能决定了矿井的命运。因此，提升控制系统必须具有完善的安全装置和安全保障措施，确保安全、可靠的生产。在安全的前提下，才能提高运输能力，提高生产效率。

（4）操作简便，自动化程度高，易于维护。现代化矿井采用了数字化系统、微机控制与系统监控技术，使得提升系统的操作简便，具备了智能化自动控制的特点，维护工作量大幅度减少，有利于生产效率的提高。

总之，矿井提升控制系统必须适应矿井生产的发展，否则就将成为制约矿井生产的瓶颈。

[技能训练] 矿井提升系统的认识

一、训练目的

对矿井提升系统的重要性以及提升系统的形式、种类有统一的认识。

二、实施过程

- (1) 利用多媒体展示矿井提升系统的种类及其控制装置。
- (2) 现场参观教学：到矿山现场实地参观提升系统，并由指导教师进行实地讲解。

思考与练习

1. 目前矿井提升系统应用了哪些先进的技术？
2. 矿井提升有哪些种类？其特点是什么？
3. 矿井提升对拖动系统的基本要求是什么？
4. 到矿山进行实地参观，你从中了解了哪些有关提升装置的知识？

第二节 矿井提升机特点及提升拖动装置

[课程内容]

矿井提升机是矿井提升设备的动力部分，由电动机、主轴装置、制动装置、深度指示器、控制系统和操作台等组成。我国目前广泛使用的矿井提升机，从工作原理和结构来分，主要是缠绕式（多为单绳，多绳较少使用）和摩擦式（多为多绳，单绳较少使用）两种。

一、矿井提升机的特点

矿井提升机与其他矿山机械相比具有如下特点：

- (1) 设备系统庞大；提升电动机的容量大，从几百千瓦到几千千瓦；加上控制设备，比煤矿其他电气设备庞大得多。
- (2) 操作频繁。
- (3) 要实现提升速度图的要求。
- (4) 在运行中，负荷变化多样，速度快，停车位置准确度要求较高，这对控制系统提出更高的要求。

选择提升机的电气设备与控制系统时必须首先考虑安全、可靠，同时还应考虑经济，即投资少。

二、矿井提升拖动装置

目前我国矿井提升机使用的拖动装置主要有3种，即直流电动机拖动装置、交流电动机拖动装置及同步电动机拖动装置。

(一) 直流电动机拖动装置

1. 工作原理

直流电动机的工作原理比较简单。如图 1-1a 所示, 如果有直流电流从电刷 A 流入, 经过线圈 $abcd$, 从电刷 B 流出, 根据电磁力定律, 载流导体 ab 和 cd 受到电磁力的作用, 其方向可由左手定则判定。两段导体受到的力形成了一个转矩, 使得转子逆时针转动。如果转子转到图 1-1b 所示的位置, 电刷 A 和换向片 2

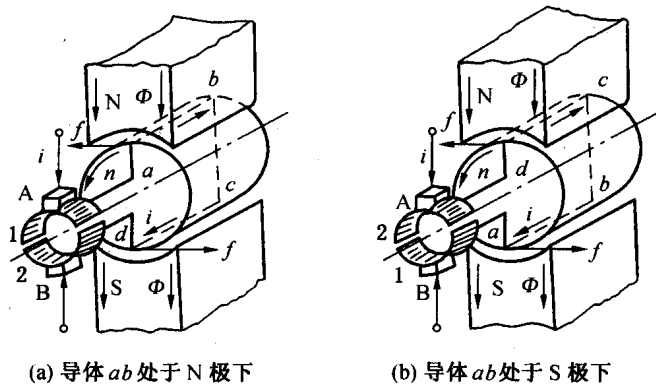


图 1-1 直流电动机的工作原理

接触, 电刷 B 和换向片 1 接触, 直流电流从电刷 A 流入, 在线圈中的流动方向是 $dcba$, 从电刷 B 流出。此时, 载流导体 ab 和 cd 受到电磁力的作用方向同样可由左手定则判定, 它们产生的转矩仍然使得转子逆时针转动。这就是直流电动机的工作原理。外加的电源虽是直流的, 但由于电刷和换向片的作用, 在线圈中流过的电流却是交流的, 其产生的转矩的方向也是不变的。实际使用中的直流电动机转子上的绕组也不是由 1 个线圈构成, 而是由多个线圈连接而成, 以减少电动机电磁转矩的波动。

2. 直流电动机特性

直流电动机的转速特性公式如下

$$n = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a}{C_e \Phi_N} I_a$$

式中 n ——电动机转速;

U_N ——电枢电压;

$C_e \Phi_N$ ——电动机结构常数, 与电动机的结构有关;

R_a ——电枢电阻;

I_a ——电枢电流。

当电动机空载时, 电枢电流 I_a 很小, $\frac{R_a}{C_e \Phi_N} I_a$ 很小, 如果忽略不计, 则此时的转速最高

$$n = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = n_0$$

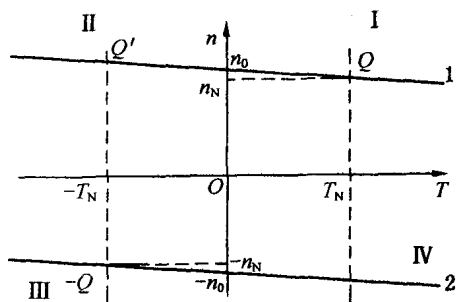
我们称之为理想空载转速。

当电动机负载越来越大时, 电枢电流也成比例增大, 消耗在电枢电阻 R_a 上的能量也就越多, 电动机的转速也将下降。

由此, 可以绘出直流电动机的特性曲线如图 1-2 所示。

下面结合矿井提升机负载特点进一步说明直流电动机的特性。提升机上提和下放重物的示意图分别如图 1-3 和图 1-4 所示。

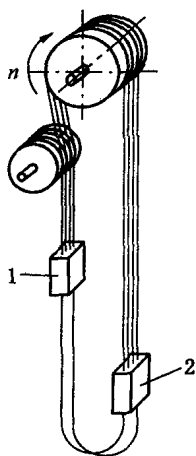
在图 1-2 中, 曲线 1 表示直流电动机正向运行时的特性曲线, 它在第一象限中的曲线代表电动运行 (提升示意图如图 1-3 所示, 假设容器 1 的载重比容器 2 的载重大)。此



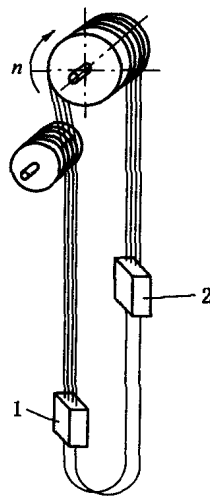
I—正向电动运行区；II—再生发电状态区；
III—反向电动运行区；IV—反向再生发电状态区
图1-2 直流电动机拖动机械特性曲线

时，负载越大，电动机的转速降落 $n_0 - n$ 越大，电动机的转速与负载的大小基本呈线性关系。在 Q 点的负载转矩 T_N 为额定转矩，对应的转速 n_N 是额定转速。在提升重物时应尽量使电动机工作于 Q 点，这样效率较高。当提升机下放重物时（如图1-4所示，假设容器2的载重比容器1的载重大），提升机受力方向与转动方向相同，由于重物的重力使电动机的转速上升，会使直流电动机电枢的转速高于理想空载转速 n_0 ，此时电动机电枢绕组产生的电动势高于电源电压，从而直流电动机将工作于发电状态，将下放重物的位能

转化为电能回送给直流电源，电枢电流方向与电动运行时电枢电流方向相反，因此将产生与运转方向相反的制动力矩来阻止转速的进一步上升。重物拖动电动机的速度越高，电动机产生的制动力矩越大，当制动力矩与重物产生的动力矩相平衡时（图1-2中的 Q' 点），电动机的转速将不再升高。



1, 2—容器
图1-3 提升机上提重物

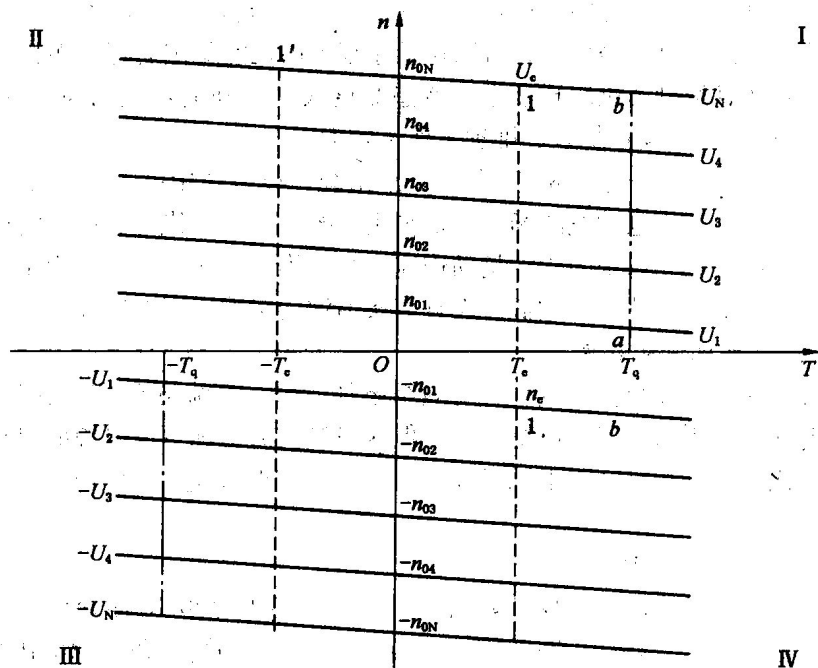


1, 2—容器
图1-4 提升机下放重物

在图1-2中，曲线2表示直流电动机反向运行时的特性曲线，它与正向运行的特性曲线平行。其所代表的意义请自行分析。

由于直流电动机具有良好的调速性能，因此在矿井提升中的应用也比较早。矿井提升机直流电动机定子励磁均使用他励方式，并由专门的直流电源供电，其调速方法是改变电枢电压，其改变转向的方法是改变电枢电源的正、负极。

改变电枢电压和极性的直流电动机特性如图1-5所示。当给予电枢不同电压时，特性曲线将在纵轴上平行移动，因此，如果平滑地改变电枢电压，那么提升机将以恒转矩方式调速，这是非常理想的控制特性。由图1-5可知，直流电动机也可以运行在发电状态，如提升机下放重物时，力矩为负值（ $-T_e$ ），就可以使电动机运行在发电状态（图1-5

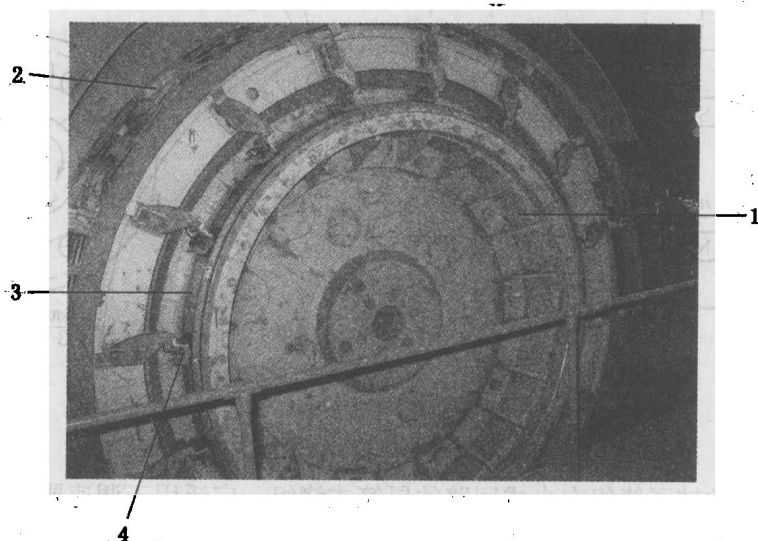


I—正向电动运行区；II—再生发电状态区；III—反向电动运行区；IV—反向再生发电状态区

图 1-5 改变电枢电压的直流电动机拖动机械特性曲线

中的点 1')，此时电动机变成发电机，而将发出的电能送给直流电源。

图 1-6 所示为实际矿井提升直流拖动的直流电动机，其电枢额定电压为 1000V，额定功率为 3000kW，电枢电流约 3200A，重 57t，与提升机滚筒直轴连接，省去了减速器。



1—电枢；2—定子；3—换向器；4—电刷装置

图 1-6 提升机直流电动机

提升机直流电动机拖动时的优点是调速平滑，调速范围宽，容易实现提升机自动化；由于特性较硬，在低速时也是如此，所以在低速范围内也能稳定运行，而且在负力时尚可以发电反馈。其缺点是电动机结构复杂，制造难度大（仅换向器上的换向片就多达 1500 余片），因此，投资大、设备复杂、维护工作量较大。

过去经常采用发电机—电动机组（F—D）系统，设备费用高、占地面积大，已趋于淘汰。目前许多使用直流电动机的场所常常采用可控硅整流器代替直流发电机组。这种可控硅整流器—电动机拖动系统的优点是动作速度快、维护工作量小、体积小、效率高，缺点是对电网无功冲击大、功率因数低，而且高次谐波会影响电网电压波形。

（二）交流电动机拖动装置

由于直流电动机存在很多缺点，且受绝缘条件所限，直流电动机电枢电压不能太高，要提高直流电动机功率只能提高电枢电流，但这对换向装置和直流电源的要求更高，因此当前国内应用比较多的还是交流电动机拖动。本书把重点放在当前应用广泛的交流异步电动机拖动控制系统上。

1. 交流电动机工作原理

三相交流异步电动机的工作原理如图 1-7 所示。空间 120° 对称分布的三相绕组通过三相对称的交流电流时，将产生空间旋转磁场。具有闭合回路的转子绕组在旋转的磁场中将感应出电流，载有感生电流的转子绕组将受到电磁力的作用，力的方向与磁场的旋转方向相同（转子速度要低于磁场转速），转子在电磁力的拖动下旋转起来。

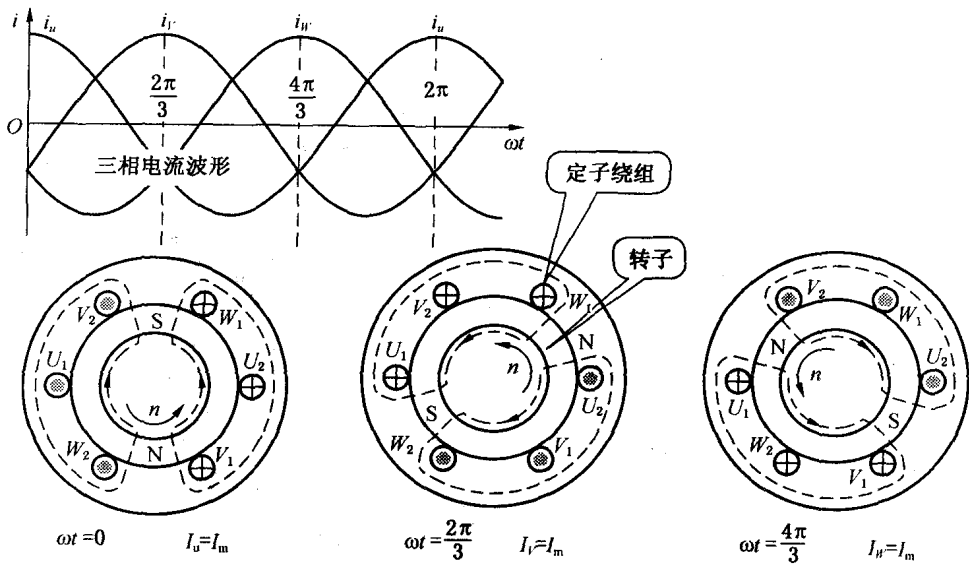


图 1-7 三相交流异步电动机的工作原理

异步电动机的转子绕组有自成回路的鼠笼式绕组，广泛用于调速要求不高的场合。矿井提升机用的异步电动机由于功率大（一般为几百千瓦至 1000kW），启动频繁，要求调速等，因此绝大部分采用转子绕线式交流异步电动机。与直流电动机相比较而言，交流电动机具有结构简单、性能可靠、维护工作量小的优点，但其控制性能不好。

2. 交流电动机特性

在交流电动机中有两个旋转的速度量,一个是旋转磁场的转速 n_1 ,另一个是转子实际旋转的转速 n 。旋转磁场的转速 n_1 是由定子中的对称绕组中通以对称交流电流产生的,因此其转速由交流电源的频率决定。也就是说,电动机定子磁场的转速与电源同步,即

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

式中 f ——电源频率;

p ——电动机磁极对数。

如果以图 1-7 中所表示的 2 极 (1 对磁极) 电动机来说,其 $p=1$, 它的同步转速 (或磁场转速) 为 3000r/min。

同步转速 n_1 与电动机转子实际转速 n 的差 (即转速差),与同步转速之比称为转差率,用 s 表示。即

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

或

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \times 100\%$$

转子绕组中感应电流的频率 f_2 为

$$f_2 = \frac{n_1 - n}{60}$$

可以看出,当转子的转速与同步转速相差较大时,转子绕组中的感应电流频率较高,而且转子绕组切割定子磁力线的速率较大,使其感应的电流也较大,因此定子绕组中的励磁电流也将相应加大。但是,转子绕组的感抗是随转子感应电流频率增加而增加的,当频率增加时,电流的无功分量增加,有功分量减少。这样,电动机产生的力矩与励磁电流不呈线性关系,而是呈现高阶函数关系。经过数学分析和推算可以得出异步电动机的特性方程为

$$T = \frac{3pU_1^2 \frac{R'_2}{s}}{\omega_1 \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \omega_1^2 (L_{11} + L'_{12})^2 \right]}$$

式中 p ——磁极对数;

U_1 ——电动机定子相电压;

ω_1 ——电动机供电角频率;

s ——转差率;

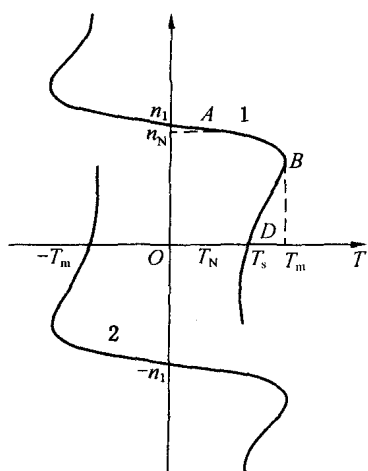
R_1 ——电动机定子每相电阻;

R'_2 ——电动机转子折算到定子侧的每相电阻;

L_{11} ——定子每相漏感;

L'_{12} ——转子折算到定子侧的每相漏感。

三相交流异步电动机在电压、频率均为额定值,定子、转子回路不串任何电路元件条件下的机械特性称为固有机械特性,其 $T-n$ 曲线如图 1-8 所示。其中曲线 1 表示电源正序时的机械特性曲线,曲线 2 表示电源负序时的机械特性曲线。



n_1 —正向同步转速； n_N —额定转速；

A—电动机额定工作点；

B—电动机电磁转矩最大点；

D—电动机直接启动转矩点

图 1-8 三相交流异步电动机

固有机械特性曲线

从图 1-8 中可以看出，三相交流异步电动机固有机械特性曲线不是一条直线，曲线 1（穿越第一象限的曲线）具有以下特点：

(1) 在 $0 < n \leq n_1$ 的范围内，即电动机转速小于同步转速时（电动机拖着负载正转），特性在第一象限，电磁转矩 T 和转速 n 为正值， T 与 n 同方向，都与同步转速 n_1 同方向，电动机工作于电动状态。

(2) 在 $n > n_1$ 时，即实际转速大于同步转速时（负载拖着电动机正转），特性在第二象限，电磁转矩 T 为负值，是制动性转矩，电动机工作于发电状态。

(3) 在 $n < 0$ 范围内，电动机实际上是被负载拖着反转，即电动机工作于倒拉反转状态，也是一种制动状态，在实际工作中应禁止。

穿越第二、三、四象限的曲线（曲线 2）是交流电动机改变电源相序、反转时的特性曲线。

3. 矿井提升系统使用的交流异步电动机

矿井提升交流电动机拖动的主要优点是基本投资小（可采用高压 6kV 直接供电），约为直流电动机拖动的一半，设备简单，但是在加速阶段及低速运行时电阻中的电能损失大，启动功率大。由于速度与负荷有关，尤其是在减速及低速运行时更为突出，交流电动机拖动会给操纵带来困难，但是随着控制技术和电力电子技术的不断进步，比如采用变频调速系统，使得问题得到很好的解决，而且从控制特性上已接近直流控制系统。由于其优点较为显著，所以目前我国对提升机仍广泛优先采用交流电动机拖动。提升系统需要的功率比较大，目前的交流拖动有单电动机拖动和双电动机拖动。单电动机拖动容量一般小于 1000kW，容量大于 1000kW 时需要采用双电动机拖动。

双电动机拖动是用 2 台电动机同时作用在 1 部提升机上。双电动机拖动时仍采用电动机转子中串接金属电阻的调速方法，对 2 台电动机各设 1 套换向器、磁力站和转子电阻。目前以等容量的双电动机拖动居多。

双电动机拖动与单电动机拖动比较起来具有下列优点：

(1) 增大了交流电动机的使用容量。

(2) 双电动机比相同容量的单电动机的转动惯量要小，有利于提高系统的控制性能。

(3) 在整个矿井服务期间，初期工作时井浅、提升速度低、电动机功率小，可用 1 台电动机拖动；后期工作时再加 1 台电动机变为双电动机拖动，这样可以使电动机一直处于满负荷运行，效率高。

(4) 采用双电动机拖动在自动化运行时，在减速阶段用 1 台电动机进行动力制动，在爬行阶段采用 1 台电动机制动、1 台电动机拖动，可得到一个合成的低速爬行硬特性，使爬行速度比较稳定。

(5) 在加速过程中，转子电阻的切除可采用交替进行方式，这样可以得到比较多的启动级数，使切换力矩的上下限靠近，从而使加速度较为稳定。这对于摩擦式提升机较为

有利,可以在满足防滑条件的基础上使平均启动力矩加大。

(6) 轻载时,等速阶段可以采用单电动机运行,提高电动机运行效率。

(7) 当1台电动机因故障不能运行时,可降低负荷后采用单电动机运行。

双电动机拖动时一个突出的问题是如何使负荷分组合理。若采用2台电动机是同型号的,其机械特性基本相同,负荷分配可以相等,所以,应使用同型号同特性的电动机。如果2台电动机的机械特性不同,尽管电动机的容量相等,但两个电动机所承担的负荷却大不相同,也就是机械特性硬的电动机负载大些,机械特性软的电动机负载小些,特性差别越大,负载越不均匀。为了使负载分配均匀,应在机械特性较硬的电动机转子电路中串入一些附加电阻,使两台电动机的特性硬度相同,这样电动机负荷的分配在等速阶段即可均匀。

双电动机拖动的优点是当负荷小时可用1台电动机工作,缺点是控制线路较复杂、设备较多。

(三) 同步电动机拖动

同步电动机的本质特点是其转速与电源频率保持严格的同步关系,所以调节电源频率也就调节了电动机的转速,并且在一定范围内电动机的转速不随负载的变化而变化。同步电动机的这一特点使其在许多领域都有广泛的应用。但是,在变频技术成熟以前,同步电动机也存在启动困难和重载时失步的缺点,很大程度上限制了它的应用。

近年来,随着半导体电力电子器件制造水平的不断提高,使得以此为基础的电动机调速技术不断成熟和完善。变频装置作为同步电动机的软启动设备,解决了同步电动机启动困难和调速的问题;以微处理器为核心的转速和频率的闭环控制,又解决了同步电动机的失步问题。这两个问题的解决从根本上改变了同步电动机在调速系统这一领域的地位。由于在主电路中采用电子换向,没有设置换向器装置,因此同步电动机调速系统又被称为无换向器电动机调速系统。与交流异步变频调速系统相比,同步电动机调速系统在低压小容量和功率在兆瓦级以上的大型调速领域占有举足轻重的地位,并且随着新技术的开发和应用,同步调速系统有着更加广阔的前景。

1. 同步电动机与异步电动机的区别

与异步电动机相比,同步电动机具有很多特点:

(1) 异步电动机的磁场靠向定子绕组供交流电产生,而同步电动机除定子磁动势外,在转子侧还有独立的直流励磁或永久磁铁,其磁场可视为恒等。

(2) 异步电动机实际转速 n 与电源频率 f_1 之间的关系为

$$n = \frac{60f_1}{p}(1-s)$$

说明异步电动机的实际拖动负载转速永远不能达到其同步转速。而同步电动机的转速 n 与电源频率 f_1 之间保持严格的同步关系,即

$$n = \frac{60f_1}{p}$$

(3) 异步电动机总是在滞后的功率因数下运行。同步电动机的功率因数可用励磁电流来调节,可以滞后,也可以超前。也就是说,同步电动机不仅能拖动机械负载,而且可以负担无功功率的调节。

(4) 异步电动机转子与定子之间的气隙是均匀的,同步电动机有凸极和隐极之分,