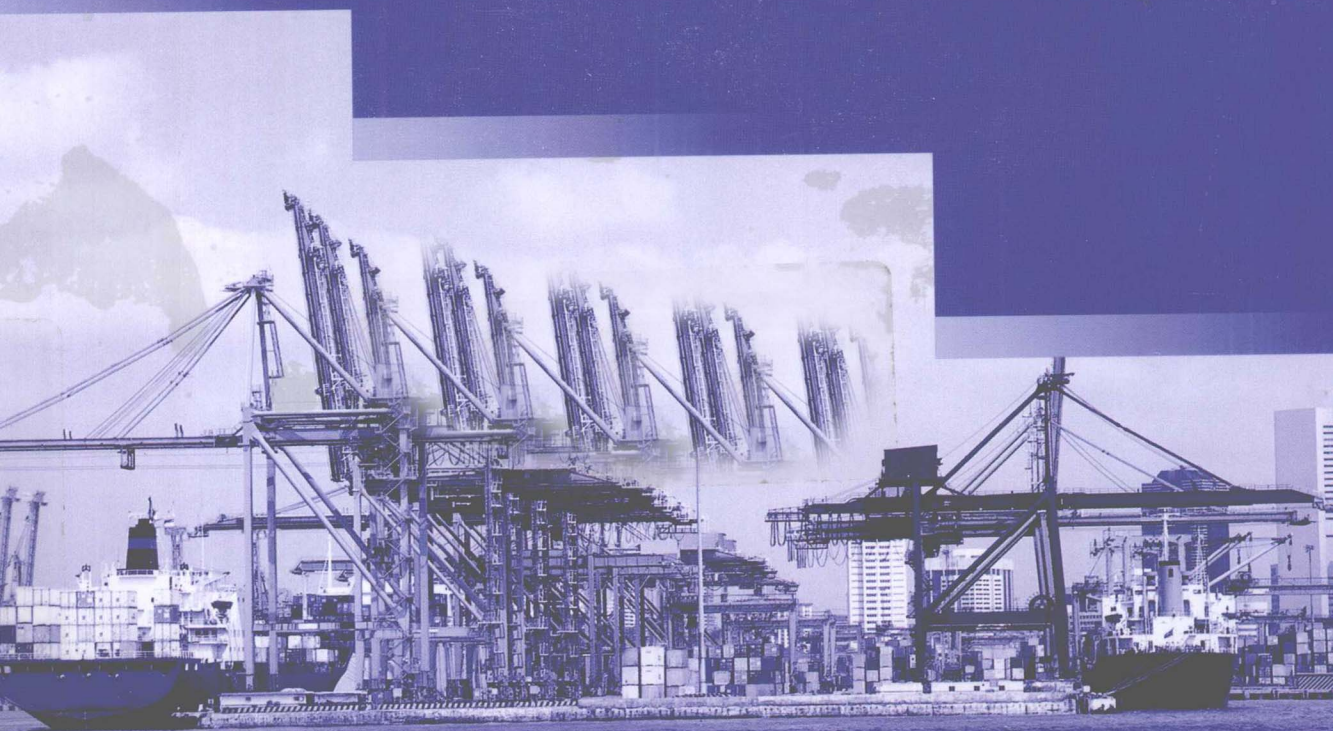


GANGKOU JIXIE DIANQI
KONGZHI JISHU

港口机械电气 控制技术

主编 孙洪昌



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

JIANGSU JINJI DIXI
KONGZHI JISHU

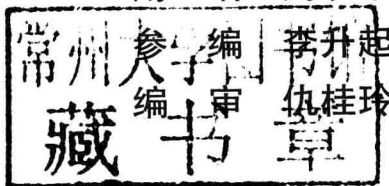
港口机械电气 控制技术

主 编 孙洪昌

副主编 周灌中

高 娟

许金海



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书按照理论够用、突出实践、重视应用、培养技能的原则编写。在阐述基本理论和基本概念的基础上，强调应用和实践，简化理论分析，便于读者理解和接受。本书共分四篇，主要内容包括电力拖动基础、直流电动机电力拖动、交流异步电动机电力拖动、常用低压电器、电气控制电路，以及港口电气设备与控制等内容，同时，在第四篇中还编写了7个实训项目，以加强实际工作能力的培养。

本书可作为高职高专教材，也可供从事现场工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

港口机械电气控制技术/孙洪昌主编. —北京：中国电力出版社，2011.6

ISBN 978-7-5123-1836-6

I. ①港… II. ①孙… III. ①港口机械-电气控制 IV. ①U691

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 125803 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京雁林吉兆印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011年8月第一版 2011年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15印张 348千字

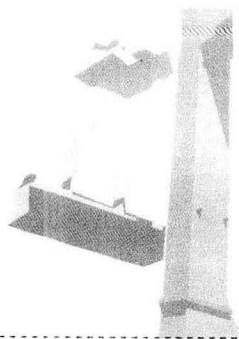
印数 0001—3000册 定价 28.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究





前 言

港口机械电气控制技术是港口机械专业的一门专业课，它的前期课程是电工电子技术。

本课程的任务是培养学生掌握港口机械电气设备控制电路的分析方法，在掌握工作原理的基础上，能进行日常的维护保养、正确使用设备和尽快排除故障，并能胜任港口机械电气设备的管理工作。

要达到上述目的，不但要掌握电气控制的基本电路，还要具备可编程序控制器和变频器的基本知识，这是现代电气控制必不可少的组成部分。它们作为本课程的技术基础课另行设置。

本书共分四篇，按照理论够用、突出实践、重视应用、培养技能的原则编写。第一篇介绍电力拖动基础。其中，第一章是电力拖动基础知识，它是学习第二章直流电动机电力拖动和第三章交流异步电动机电力拖动的基础，内容虽少，但相当重要。而掌握第二章和第三章交、直流电动机电力拖动的基础理论又是学习第二篇基本电气控制的前提，常用低压电器更是控制电路的直接基础。熟悉了第二篇中电气控制电路的分析方法，在第三篇中分析港口机械电气控制的工作原理也就轻车熟路了。

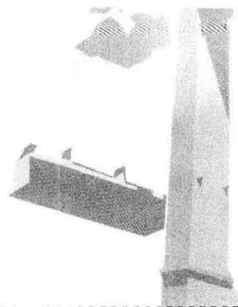
第三篇根据港口生产实际，编写了具有现代电气控制技术的门座式起重机、堆取料机、带式输送机、集装箱轨道吊、集装箱装卸桥等具有代表性的港口起重输送机械的电气控制技术，同时在第四篇中编写7个项目的实训内容，通过这些技能的训练，可以加强实际工作能力的培养。

本书突出港口特色，密切结合港口装卸生产实际，在阐述基本理论和基本概念的基础上，强调应用和实践，简化理论分析，基本不进行计算，便于理解和接受，书中着重分析思路和分析方法的训练，以提高专业技术水平和独立工作的能力。

本书由青岛港湾职业技术学院，孙洪昌任主编，周灌中、高娟任副主编，李升起、许金海参编，仇桂玲担任主审，同时在编写过程中，得到了青岛港（集团）有限公司港口机械厂徐东琦的大力协助并参考了相关文献，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，疏漏和错误之处在所难免，欢迎各位读者指正。

作 者
2011年4月



目 录

前言

第一篇 电力拖动基础

第一章 电力拖动基础知识	2
第一节 生产机械的负载特性	2
一、恒转矩负载 (2) 二、恒功率负载 (3) 三、通风机型负载 (3)	
第二节 电动机的机械特性及工作状态	3
一、电动机的机械特性 (3) 二、电动机的工作状态 (4)	
第二章 直流电动机电力拖动	6
第一节 直流电动机的结构和基本工作原理	6
一、直流电动机的工作原理 (6) 二、直流电动机的结构 (7) 三、直流电动机的分类和铭牌 (9)	
第二节 直流电动机的机械特性	12
一、他励电动机的机械特性 (12) 二、串励电动机的机械特性 (14) 三、直流电动机的应用范围 (14)	
第三节 直流电动机的启动和反转	15
一、直流电动机的启动 (15) 二、直流电动机的反转 (16)	
第四节 直流电动机的调速	17
一、电枢回路串电阻调速 (17) 二、降低电源电压调速 (18) 三、改变励磁磁通调速 (18)	
第五节 直流电动机的制动	19
一、能耗制动 (19) 二、反接制动 (20) 三、回馈制动 (21)	
第三章 交流异步电动机电力拖动	23
第一节 三相异步电动机的结构和工作原理	23
一、三相异步电动机的结构 (23) 二、三相异步电动机的工作原理 (26) 三、三相异步电动机的分类和铭牌 (31)	
第二节 三相异步电动机的机械特性	36
一、机械特性表达式 (36) 二、三相异步电动机的机械特性曲线分析 (37) 三、三相异步电动机的人为特性 (38)	
第三节 三相异步电动机的启动	39
一、三相异步电动机对启动的要求 (40) 二、三相笼型异步电动机的全压启动 (40)	

三、三相笼型异步电动机定子回路串电阻器降压启动 (40)	四、三相笼型异步电动机星形—三角形 (Y— Δ) 转换降压启动 (41)	五、三相笼型异步电动机自耦变压器降压启动 (42)	六、三相绕线型异步电动机转子回路中串电阻启动 (43)	七、三相绕线型异步电动机转子串频敏变阻器启动 (44)
第四节 三相异步电动机的调速	44			
一、变极调速 (45)	二、变频调速 (45)	三、改变转差率调速 (46)		
第五节 三相异步电动机的制动	46			
一、能耗制动 (47)	二、反接制动 (47)	三、回馈制动 (48)		

第二篇 基本电气控制

第四章 常用低压电器	52					
第一节 低压电器的基础知识	52					
一、低压电器的分类 (52)	二、电磁机构 (52)					
第二节 熔断器	55					
一、常用熔断器 (55)	二、熔断器的选择 (58)					
第三节 接触器	59					
一、交流接触器 (59)	二、直流接触器 (60)	三、接触器的选择 (62)				
第四节 继电器	62					
一、电流继电器 (63)	二、电压继电器 (63)	三、中间继电器 (64)	四、热继电器 (65)	五、时间继电器 (66)	六、速度继电器 (69)	七、固态继电器 (70)
第五节 低压开关	71					
一、刀开关 (71)	二、组合开关 (73)	三、低压断路器 (74)				
第六节 主令电器	75					
一、按钮 (75)	二、位置开关 (76)	三、接近开关 (77)	四、主令控制器 (77)			
第七节 光电编码器	79					
一、编码器的结构和工作原理 (79)	二、增量型编码器 (80)	三、绝对型编码器 (81)				
第八节 其他常用低压电器	81					
一、凸轮控制器 (81)	二、频敏变阻器 (82)	三、电磁抱闸制动器 (82)				
第五章 电气控制基本电路	85					
第一节 电气控制系统图	85					
一、电气图的分类 (85)	二、电气原理图的分析 (87)					
第二节 三相笼型异步电动机的全压启动控制	90					
一、三相异步电动机的单向全压启动控制电路 (90)	二、正反转运行控制电路 (91)					
第三节 三相笼型异步电动机的降压启动控制	93					
一、定子回路串电阻降压启动控制电路 (93)	二、星形—三角形 (Y— Δ) 降压启动控制电路 (94)	三、自耦变压器降压启动控制电路 (95)				
第四节 三相绕线型异步电动机的启动控制	96					
一、转子绕组串电阻启动控制电路 (96)	二、转子绕组串频敏变阻器的启动控制电					

路 (97)	
第五节 三相异步电动机的制动控制	98
一、反接制动控制电路 (98)	
二、能耗制动控制电路 (100)	
第六节 三相异步电动机的调速控制	101
一、变极调速控制电路 (101)	
二、改变转差率调速控制电路 (102)	
三、变频调速控制电路 (107)	
第七节 直流电动机电气控制	111
一、启动控制电路 (112)	
二、制动控制电路 (112)	
三、调速控制电路 (114)	

第三篇 港口机械电气设备与控制

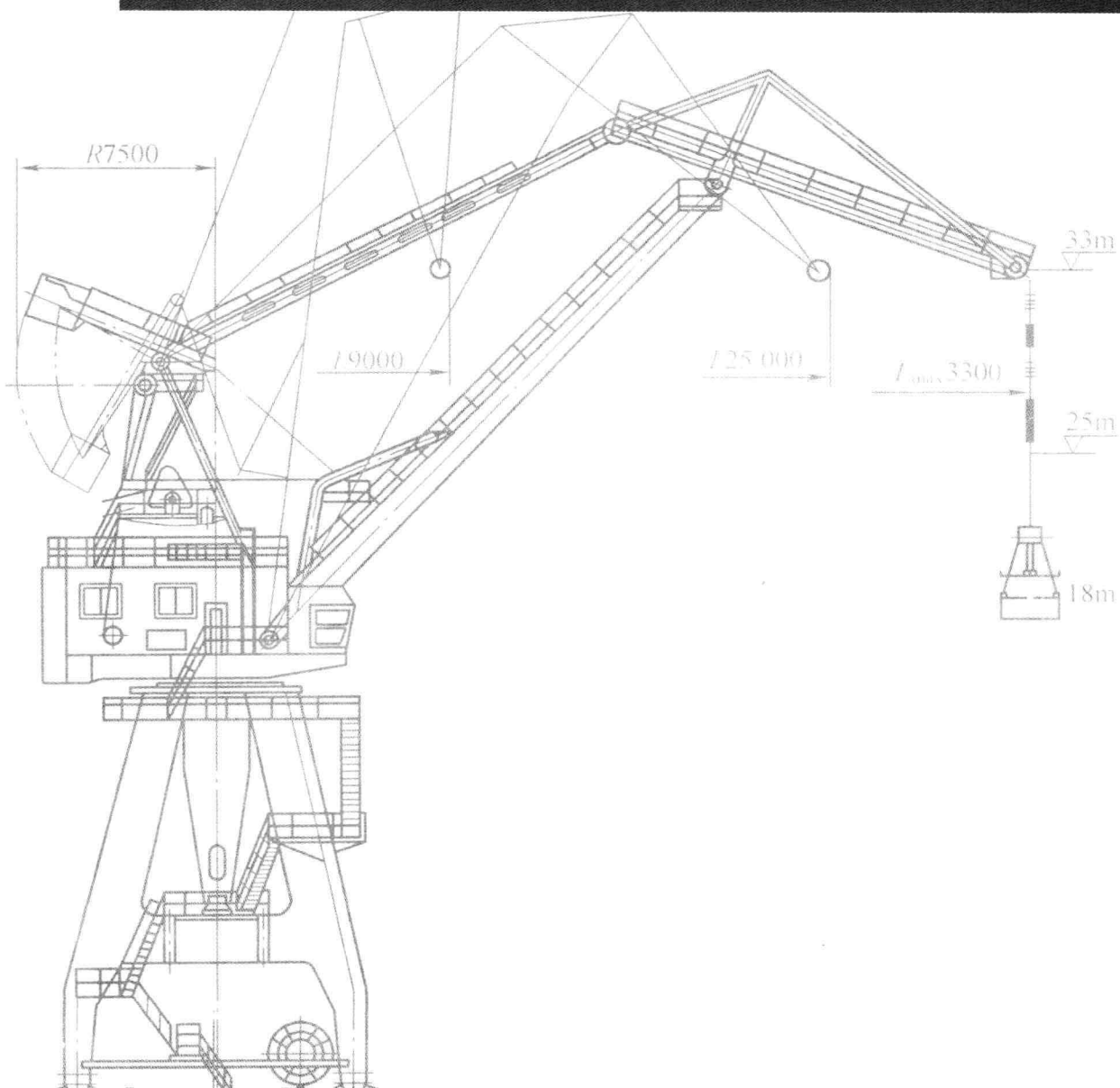
第六章 门座式起重机的电气设备与控制	118
第一节 常规电气控制门座式起重机	118
一、供电线路 (118)	
二、行走机构电气控制 (119)	
三、旋转机构电气控制 (121)	
四、变幅机构电气线路 (122)	
五、起升机构电气控制 (124)	
第二节 现代电气控制门座式起重机	131
一、概述 (131)	
二、电气系统框图 (132)	
三、联动控制台 (132)	
四、PLC 控制系统 (133)	
五、供电线路 (134)	
六、行走机构电气控制 (137)	
七、变幅机构电气控制 (139)	
八、旋转机构电气控制 (140)	
九、起升机构电气控制 (142)	
十、日常维护与故障排除 (144)	
第七章 斗轮堆取料机的电气设备与控制	148
第一节 工作机构和运动形式	148
一、行走机构 (148)	
二、斗轮机构 (149)	
三、胶带机 (149)	
四、回转机构 (150)	
五、变幅机构及其他系统 (150)	
第二节 供电系统	151
一、高压设备 (151)	
二、低压设备 (151)	
第三节 悬臂皮带机电气控制	152
第四节 回转机构电气控制	153
一、变频器 (153)	
二、堆取料机的回转调速 (155)	
第五节 使用、维修与保养	157
一、使用 (157)	
二、维修与保养 (157)	
第八章 带式输送机的电气设备与控制	161
第一节 胶带机的驱动装置	161
第二节 胶带机的保护装置	162
第三节 胶带机的电气控制	163
第九章 集装箱轨道吊的电气设备与控制	168
第一节 集装箱轨道吊简介	168
一、概述 (168)	
二、主要技术性能参数 (170)	

第二节 供电系统	170
一、电源分类 (170) 二、电源传输路径 (170) 三、主要配电设备 (172) 四、电源保护 (174)	
第三节 操作系统	175
一、联动台 (175) 二、地面操作站 (176)	
第四节 能量回馈系统	177
第五节 PLC 控制系统	177
第六节 状态监视和管理系统	183
一、简介 (183) 二、系统功能 (183)	
第七节 紧停按钮和限位、传感器	184
一、紧停按钮 (184) 二、限位、传感器 (184)	
第八节 起升机构电气设备与控制	185
一、电气设备 (186) 二、起升控制 (186) 三、保护 (186)	
第九节 大车机构电气设备与控制	188
一、电气设备 (188) 二、大车行走控制 (188) 三、保护 (188)	
第十节 小车机构的电气设备与控制	190
一、电气设备 (190) 二、电气控制 (190) 三、保护 (190)	
第十一节 吊具电气设备与控制	192
一、电气设备 (192) 二、电气控制 (192)	
第十二节 日常维护与故障排除	193
一、日常维护 (193) 二、故障排除 (193)	
第十章 集装箱装卸桥的电气设备与控制	195
第一节 集装箱装卸桥简介	195
一、概述 (195) 二、主要技术性能参数 (195)	
第二节 供电系统	197
一、电压等级和类别 (197) 二、供电方式 (197) 三、主要配电设备 (197) 四、电源保护 (199)	
第三节 操作系统	199
一、联动台 (199) 二、俯仰操作箱 (200) 三、大车操作箱 (201) 四、机房操作箱 (201)	
第四节 PLC 控制系统	201
第五节 能量回馈系统	205
第六节 变频调速驱动系统	207
一、起升机构 (207) 二、大车机构 (209) 三、小车机构 (210) 四、俯仰机构 (212)	
第七节 吊具系统	213
第八节 CMS 状态监视和管理系统	214

第四篇 实 训

项目一	交流电动机绝缘电阻的测定·····	218
项目二	三相异步电动机的点动、自锁、正、反转控制·····	219
项目三	星形—三角形降压启动控制·····	220
项目四	常规电气控制门座式起重机上机参观与观摩操作·····	221
项目五	现代电气控制门座式起重机模拟操作训练·····	221
项目六	集装箱轮胎吊模拟操作训练·····	224
项目七	集装箱装卸桥模拟操作训练·····	226
参考文献	·····	228

第一篇 电力拖动基础



电力拖动基础知识

用电动机拖动生产机械以完成特定的生产任务称为“电力拖动”。

电力拖动系统是把电能转化成机械能的装置，由电动机、控制电动机的设备和生产机械组成，称为电力拖动系统的三要素。

电力拖动理论主要研究电动机拖动生产机械的运动规律。当电动机的电磁转矩作为拖动生产机械的动力转矩与生产机械的阻力转矩相平衡时，为稳定状态；否则，便是启动、调速和制动等过渡过程。

电动机的转速与电磁转矩的关系称为电动机的机械特性，而与生产机械的阻力转矩的关系则称为生产机械的机械特性。

对电动机和生产机械的机械特性及工作状态的研究，便是理解电力拖动规律的基本方法。

由于电动机运转的状态不同及生产机械负载类型的不同，电动机的转速、电磁转矩与负载转矩不仅在大小上，而且在方向上也是可以变化的。因此，对转速、电磁转矩、负载转矩的正方向应有一个明确的规定。

首先确定电动机的某一旋转方向（如提升重物时上升的方向）转速为正，则电动机的电磁转矩与转速方向相同时为正，方向相反时为负；负载转矩与转速方向相反时为正，方向相同时为负。如果转速为负，则电磁转矩与转速方向相同时为负，方向相反时为正；负载转矩与转速方向相同时为正，方向相反时为负。综合上述两种情况，可以归纳为：电磁转矩与转速方向相同时符号相同，方向相反时符号相反；负载转矩与转速方向相同时符号相反，方向相反时符号相同。

第一节 生产机械的负载特性

生产机械的负载特性是指生产机械的转速 n 与负载转矩 T_L 之间的关系，即 $n=f(T_L)$ 。

各种生产机械按负载特性的不同，大致可分为恒转矩负载、恒功率负载和通风机型负载三类。

一、恒转矩负载

恒转矩负载是指负载转矩 T_L 的大小不随转速而改变的生产机械。它可分为反抗性恒转矩负载和位能性恒转矩负载两种。

1. 反抗性恒转矩负载

反抗性恒转矩负载是指负载转矩的大小不变，但负载转矩的方向始终与生产机械运动的

方向相反，例如，生产机械的摩擦转矩。当转动方向改变时，摩擦转矩也随之反向，如图 1-1 所示。

2. 位能性恒转矩负载

位能性恒转矩负载是指不论生产机械运动的方向变动与否，负载转矩的大小和方向始终不变，例如，起重装置的吊钩及重物所产生的转矩，如图 1-2 所示。

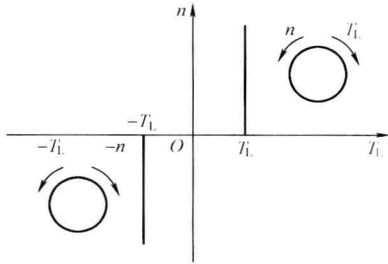


图 1-1 反抗性恒转矩负载特性

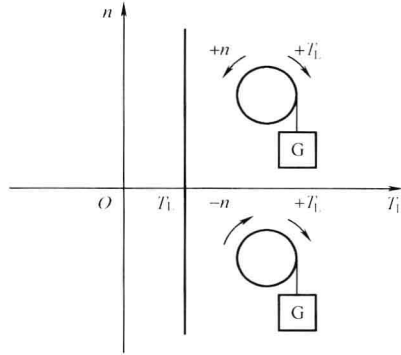


图 1-2 位能性恒转矩负载特性

二、恒功率负载

恒功率负载是指负载所需的功率为恒定值。因为 $P_L = T_L \left(\frac{2\pi n}{60} \right) = \left(\frac{2\pi}{60} \right) T_L n$ ，所以负载转矩与转速成反比，如图 1-3 所示。例如，车床的切削加工，粗加工时，切削量大，用低速；精加工时，切削量小，用高速。

三、通风机型负载

通风机型负载是指负载转矩 T_L 的大小与转速 n 的平方成正比的生产机械，即 $T_L = kn^2$ ，例如，鼓风机、水泵、油泵等的叶片所受的阻转矩，负载特性如图 1-4 所示。

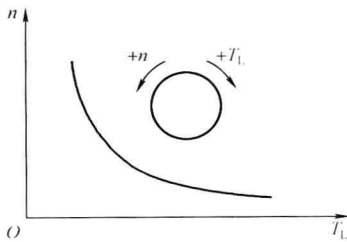


图 1-3 恒功率负载特性图

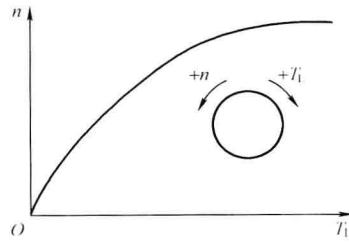


图 1-4 通风机型负载特性

第二节 电动机的机械特性及工作状态

一、电动机的机械特性

电动机的机械特性是指电动机转速 n 随电磁转矩 T_{em} 变化的规律。

电动机在额定条件下，即 $U = U_N$ ， $\Phi = \Phi_N$ ，定子和转子电路中不串电阻或其他启动变

速装置时的机械特性，称为固有特性，或自然特性，为了适应生产需要，人为地改变电压、频率、磁通，或者在定子、转子中串接部分电阻，改变了的机械特性称为人为机械特性。

不同的电动机有不同的自然特性，电动机的自然机械特性主要分为以下三类。

1. 绝对硬的机械特性

这种机械特性如图 1-5 中的特性曲线 1 所示。当电动机转矩改变时，其转速不变，例如，同步电动机的机械特性。

2. 硬特性

这种机械特性如图 1-5 中的特性曲线 2 和 4 所示，电动机的转速虽然随着力矩增大而下降，但下降陡度不大，例如，直流并励电动机及交流异步电动机在临界转差率以上的机械特性。

3. 软特性

这种机械特性如图 1-5 中特性曲线 3 所示，电动机的转速随其转矩的增加而下降，下降的陡度很大，例如，直流串励电动机的机械特性。

电力拖动系统稳定运转的性能和过渡过程的特征，全部由电动机的机械特性决定，因而在配用电动机时必须首先注意电动机的机械特性，以满足生产机械的需要。

二、电动机的工作状态

在电力拖动系统中，电动机具有两种工作状态——电动状态和制动状态。当电动机电磁转矩方向与其旋转方向相同时，电动机处于电动状态；当电磁转矩方向与其旋转方向相反时，电动机处于制动状态。当电动机处于电动状态运动时，电磁转矩为驱动生产机械的原动力，即驱动负载运行。反之，电动机的电磁转矩阻碍生产机械的运动，即阻止负载的运行，称制动状态。例如，当起重机下放负荷时，为了防止重力加速度作用而产生越来越快的下降速度，必须采用各种制动方法，获得匀速下降速度，保证起重机下放负荷时的装卸质量及安全生产。

图 1-6 所示为电动机各种不同工作状态的坐标图。

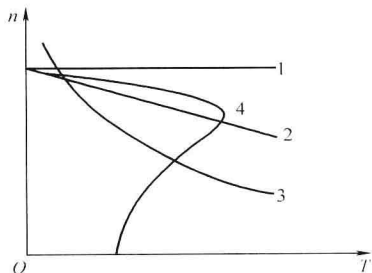


图 1-5 电动机的机械特性

- 1—同步电动机特性；2—他（并）励电动机特性；
3—串励电动机特性；4—交流异步电动机特性

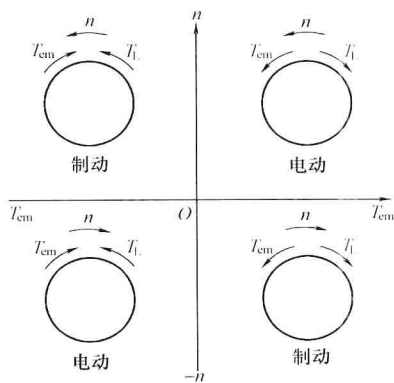


图 1-6 电动机工作状态坐标图

在第一象限中，电磁转矩 T_{em} 与转速 n 均为正，电动机正转，处于电动状态。如起重机行走机构向前运行时，电磁转矩 T_{em} 克服负载转矩 T_L ，使起重机向前移动。

在第二象限中，电磁转矩 T_{em} 为负，转速 n 为正，电动机正转，但处于制动状态。如港口流动吊车下坡运行时，为了防止运行机构因重力加速度以过大的速度冲下坡，这时电磁转矩成为制动力矩。

在第三象限中，电磁转矩 T_{em} 和转速 n 均为负，电动机反转，处于电动状态。如起重机运行机构向后运行时，电磁转矩 T_{em} 及转速 n 均反向。

在第四象限中，电磁转矩 T_{em} 为正，转速 n 为负，电动机反转，处于制动状态。如起重机起升机构下放重载时，为了防止负载转矩 T_L 在重力加速度的作用下，产生过大的加速度而使重载急速下降，必须使电磁转矩 T_{em} 反抗负载转矩 T_L 并获得适当的匀速下降速度，这时电磁转矩与转速方向相反，起制动作用。

无论电动机处于电动状态或处于制动状态，在电力拖动系统中都起着应有的作用，在后续章节中，将结合港口机械的具体机构，分析电动机的不同工作状态和电力拖动系统的运行原理。

思考题

1. 什么是生产机械的负载特性，大致可分几种？
2. 转速、电磁转矩，阻力转矩的正方向是怎样规定的？
3. 什么是电动机的机械特性？
4. 电动机有哪几种工作状态？试分析四象限运行坐标图。

直流电动机电力拖动

第一节 直流电动机的结构和基本工作原理

一、直流电动机的工作原理

图 2-1 所示是一台简单的直流电动机的原理图。图中 N 和 S 是一对固定的磁极，用来建立恒定磁场。两磁极之间有一个可以转动的圆柱形铁芯，铁芯上固定着线圈 abcd。线圈的 ad 端接在随电枢一起旋转的两片半圆形铜片上，这两个铜片合称为换向器，换向器固定在转轴上且与转轴绝缘。铁芯、线圈和换向器组合在一起形成电枢。电刷 A、B 分别与换向片接触而通向外电路。

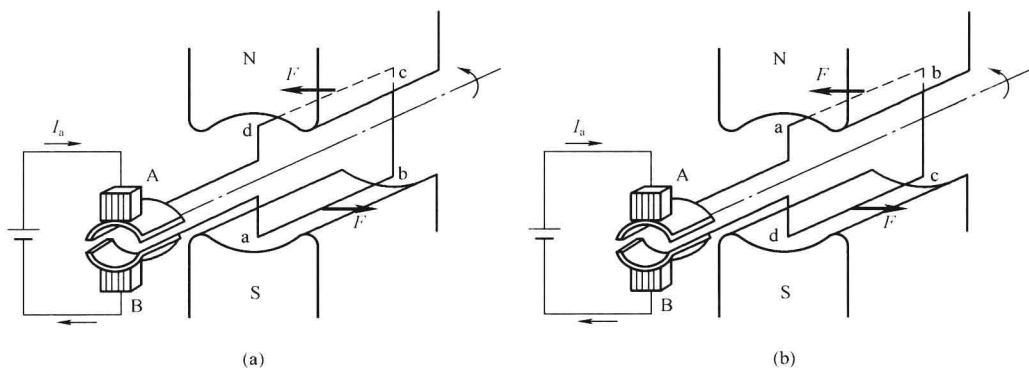


图 2-1 直流电动机原理图
(a) 电枢通电时；(b) 电枢转过 180°时

通电线圈在磁场中要受到磁场力的作用。假设电刷 A 与电源的正极相连，电刷 B 与电源的负极相连，电流经 A—d—c—b—a—B 形成回路。根据左手定则，线圈 ab 的受力方向向右，线圈 cd 的受力方向向左。这样就形成一个转矩，使电枢逆时针方向旋转，如图 2-1 (a) 所示。

当电枢转过 90°时，此时通电线圈虽受到电磁力的作用，但转矩为零。由于电枢机械惯性的作用，电枢也能转过一定的角度，这时线圈中电流的方向也发生了改变。

当电枢转过 180°时，这时电流经 A—a—b—c—d—B 形成回路，线圈内部电流的方向发生了改变，根据左手定则，线圈 ab 受力方向向左，线圈 cd 受力方向向右，仍然形成一个逆时针转动的转矩，电枢按同一方向继续旋转，这样电动机就可以连续旋转，如图 2-1 (b)

所示。

使电动机转动的转矩由于是电磁感应产生的，所以称为电磁转矩，用 T_{em} 表示。其大小与磁场强度和流过电枢的电流强度成正比，即 $T_{em} = C_T \Phi I_a$ 。电枢在磁场中旋转，电枢绕组就会因切割磁通而产生感应电动势 E_a ，根据右手定则，电动势 E_a 的方向与电枢电流 I_a 的方向相反，称为反电动势。反电动势的大小与磁场强度和电动机的转速成正比，即 $E_a = C_e \Phi n$ 。

综上所述，直流电机转动的基本工作原理是：

- (1) 励磁绕组接通直流电产生恒定磁场。
- (2) 通电的电枢线圈在磁场中受力产生电磁转矩，使电动机转动。
- (3) 转动的电枢线圈切割磁场产生反电动势。

二、直流电动机的结构

直流电动机由两个主要部分组成：静止部分和转动部分。静止部分称为定子，由主磁极、换向磁极、机座和电刷等装置组成，主要用来建立磁场。转动部分称为转子或电枢，由电枢铁芯、电枢绕组、换向器、风扇、转轴等组成，是机械能变为电能或电能变为机械能的枢纽。在静止部分和转动部分之间，有一定的间隙，称为气隙。图 2-2 所示为直流电动机结构图，图 2-3 所示为直流电动机组成部件。

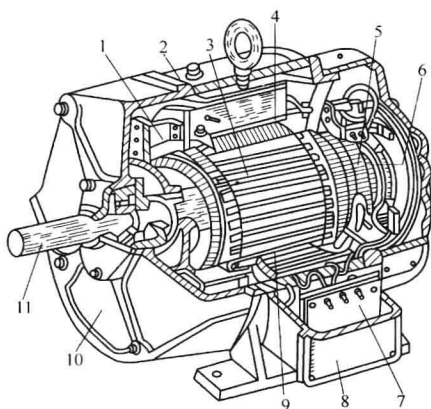


图 2-2 直流电动机结构图

- 1—风扇；2—机座；3—电枢；4—主磁极；
5—电刷架；6—换向器；7—接线板；8—出
线盒；9—换向磁极；10—端盖；11—转轴

1. 静止部分

(1) 主磁极。主磁极的作用是产生一个恒定的主磁场，它由铁芯和励磁绕组组成。在励磁绕组中通入直流电流后，铁芯中即产生励磁磁通，并在气隙中建立磁场。励磁绕组是用绝缘铜线绕制的线圈，套在铁芯外面。铁芯一般用硅钢片叠压而成。主磁极总是 N、S 两极成对出现的。主磁极的励磁绕组相互串联连接，连接时要能保证相邻磁极的极性按 N、S 交替排列。主磁极的结构如图 2-4 所示。

(2) 换向磁极。换向磁极也是由铁芯和换向磁极绕组构成的，如图 2-5 所示。其作用是减小电刷与换向器之间的火花。换向磁极安装在相邻两个主磁极的中间线上，当换向磁极绕

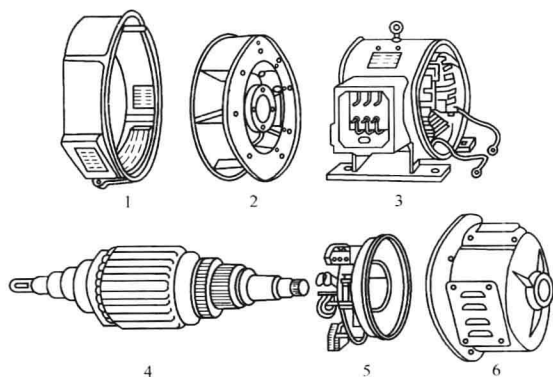


图 2-3 直流电动机组成部件

- 1—前端盖；2—风扇；3—机座；
4—电枢；5—电刷架；6—后端盖

组通入直流电流时，它所形成的磁场对电枢磁场产生影响。换向磁极绕组一般总与电枢绕组串联。

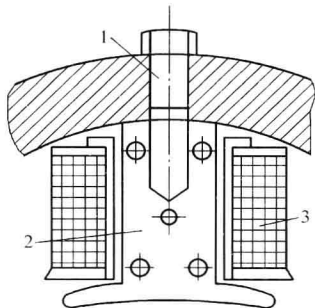


图 2-4 主磁极的结构

1—机座；2—主磁极铁芯；3—励磁绕组

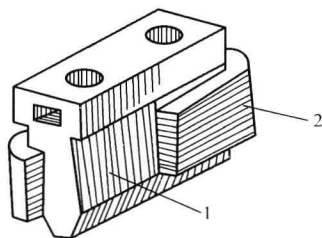


图 2-5 换向磁极

1—换向磁极铁芯；2—换向磁极绕组

(3) 机座。机座由铸铁或铸钢制成，是磁路的一部分。它用来固定主磁极、换向磁极和端盖，其结构如图 2-6 所示。

(4) 电刷装置。电刷将旋转的电枢绕组电路与静止的外部电路相连接，把直流电流引入或将直流感应电动势引出。直流电动机中电刷装置由电刷及刷握、弹簧、刷杆座等部分组成。电刷放置在刷握内，用弹簧压紧在换向器上。一般电刷组数与主磁极极数相等。电刷装置在换向器表面应对称分布，并且可以移动，用以调整电刷在换向器上的位置。电刷装置如图 2-7 所示。

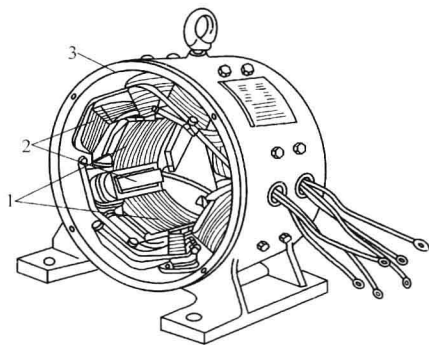


图 2-6 机座

1—主磁极；2—换向磁极；3—机座

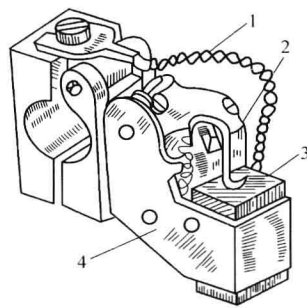


图 2-7 电刷装置

1—铜丝辫；2—压指；3—电刷；4—刷握

2. 转动部分

(1) 电枢铁芯。电枢铁芯是磁路的一部分，同时对放置在其上的电枢绕组起支撑作用。电动机运行时，交变的磁通会在铁芯中产生涡流和磁滞损耗。为了减少涡流损耗，电枢铁芯通常采用 0.5mm 厚且表面涂绝缘漆的硅钢片叠压而成。每片周围均匀分布许多齿和槽，槽内可安放电枢绕组，其结构如图 2-8 所示。

(2) 电枢绕组。电枢绕组是直流电动机电路的主要组成部分，它是产生感应电动势和流过电流而产生电磁转矩，从而实现机、电能量的转换。电枢绕组通常用绝缘的铜线在模具上绕成线圈