

西南交通大学出版社

铁路继续教育系列教材

铁路机务

铁道部人事司 组织编写
铁道部人才交流培训中心



铁路继续教育系列教材

铁 路 机 务

铁 道 部 人 事 司
铁道部人才交流培训中心 组织编写

鲍维千 杜 怡 主 编

丁圻堦 商福昆 主 审

西南交通大学出版社

铁路继续教育系列教材

铁路机务

铁道部人事司 组织编写
铁道部人才交流培训中心

鲍维千 杜 怡 主编

责任编辑 王 旻

*

西南交通大学出版社出版发行

(成都 二环路北一段 610031)

郫县印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:22.625

字数:546千字 印数:1-5000册

1998年6月第1版 1998年6月第1次印刷

ISBN 7-81057-066-8/U·060

定价:31.00元

铁路继续教育系列教材编委会

主 任	华茂昆			
副主任	费克勤	安立敏	温继武	
编 委	杨友根	吴 风	丁圻墀	宋凤书
	胡东源	卢祖文	曹 菁	柳呈祥
	于 川	许守祐	章根明	柴浦安
	顾 聪	蔡申夫	刘国祥	王申庆
	何 璧	张玉秀	杨安立	吴信然
	王 成	朱克勤	赵建国	张全寿
	黄大光			

序 言

《铁路继续教育系列教材》，是对铁路专业技术人员进行继续教育的基础读本。它的问世，对于抓好铁路继续教育，提高铁路专业技术队伍的素质是有益的。

铁路是我国交通运输的骨干。在加快改革开放和发展社会主义市场经济的新形势下，铁路面临着新的机遇和挑战。为把我国铁路现代化建设事业全面推向 21 世纪，我们必须以十五大精神为指导，加快铁路改革与发展，实施科教兴路战略，使铁路从传统产业逐步走向现代化。

实现铁路现代化，关键是科技，基础在教育。加快铁路科技进步，提高铁路专业技术队伍的素质，直接关系到铁路现代化的进程，现代科技发展日新月异，世界铁路在高速技术、重载技术、管理技术、安全技术和信息技术等方面取得了重大进展。为了适应新的形势，必须对全路专业技术人员广泛开展继续教育。

为了搞好铁路专业技术人员的继续教育，编写一套好的教材是非常重要的。《铁路继续教育系列教材》反映了现代科学技术发展的水平和铁路企业技术进步的特点，兼顾了教材理论体系的系统性和专业人员选修的适用性，对专业技术人员了解和把握本专业学科领域国内外科技发展动态，学习掌握先进的技术、理论和方法等会有帮助。希望全路各级组织、各级领导都来关心继续教育的工作。各单位要根据实际，以这套教材为基础读本，切实抓好继续教育的工作。全路广大专业技术人员要通过继续教育，不断更新知识内容，拓宽知识面，为我国铁路现代化建设事业作出新贡献。

这套教材由铁道部人事司、人才交流培训中心组织各方面的专家、教授和学者编写，部机关有关司局进行指导和审定，在此，我谨向为这套教材的编写、出版倾注了大量心血的所有工作人员表示衷心的感谢。

傅 志 寰

一九九七年十二月一日

前 言

在当前铁路客运提速、货运重载的形势下,机务部门担当着关键任务。本书编委会调查了现场的实际情况及需要,经多次讨论确定了本书的编写大纲,并提出对本书的编写要求:一是内容新,要反映我国铁路机务技术的当前水平及发展方向;二是结合实际,注重实用,以期对现场技术人员工作能力的提高起到有益的作用。本书作者按照编写大纲及要求,结合各自的多年工作经验,力求有所创新,分工编写成此书。

本书共分四篇。

第一篇机车新技术,介绍了电力及内燃机车的技术发展情况。机车交流传动技术具有许多优点,是电力及内燃机车的发展方向,本篇对此作了全面的阐述。机车柴油机是内燃机车牵引功率的来源,为了提高内燃机车的牵引功率来满足提速及重载的要求,我国对柴油机的强化技术与经济性进行了多年的理论研究与实践,并取得了可喜的成绩,本篇专有一章对此作了系统的论述。机车走行技术在近二十多年来有了很大的发展,不同用途的机车主要表现在不同的走行部结构上。高速/快速客运机车与重载货运机车的走行部各有特点,机车径向转向架是近十年来才得到应用的新技术,对这些内容,本篇都从原理方面作了简明扼要的论述。近些年来我国开发了多种新型电力及内燃机车,本篇作了详细的介绍。

第二篇高速/快速及重载列车,针对当前我国铁路客运提速、货运重载及计划中的京沪高速列车,分析了这些列车的牵引及制动问题以及重载列车纵向动力学及安全操纵技术。本篇详细分析了高速/快速列车及重载列车的牵引计算方法及对机车牵引性能的要求。高速/快速列车及重载列车的制动技术关系到行车安全。车辆制动机的性能如何才能满足要求,本篇作了深入浅出的论述。重载列车纵向动力学是分析长大列车过渡工况(起动加速、制动、缓解)列车纵向冲动规律的,过于剧烈的纵向冲动危及列车的安全运行。列车纵向动力学可用来分析列车长度、制动机性能、操纵方法、机车配置、空重车编组方式等对列车纵向冲动的影。这些论点在本篇都有反映,并按列车纵向动力学基本原理分析了重载列车的安全操纵技术。

第三篇机车运用及安全,着重介绍了机务段信息管理系统、行车安全理论及设备——列车运行监控记录装置。该监控装置是近几年来广泛应用于机车上的新装备,对机车的安全操纵、防止冒进信号等起到了重大作用。本篇着重对监控装置的应用作了详细介绍。

第四篇机车维修技术,介绍机车检修中的各种检测方法、机车故障及零部件失效理论以及机车维修制度的制订。

本书的读者对象是铁路机务部门及机车工厂的有关科技人员,也可供高等学校师生参考。

本书各章的编写人为:第一章——西南交通大学沈本荫;第二章——西南交通大学魏道远;第三~五章、第六章的 6-1、6-2、第七章的 7-6、7-7,第八、十章——西南交通大学鲍维千;第

九章——西南交通大学张开文;第十二章的 12-1 ~ 12-3——西南交通大学刘东明;第六章的 6-3、6-4、第七章的 7-1 ~ 7-5,第十一章、第十二章的 12-5、12-6——成都铁路局龚平;第十二章的 12-4——成都铁路局张梁及株洲电力机车研究所唐献康;第十三、十四章——西南交通大学吴庄胜。

限于编写人的水平及了解情况不够充分,遗漏和错误在所难免,请读者指正。

编 者

一九九七年十二月

于成都

目 录

第一篇 机车新技术

第一章 机车交流传动技术

1-1 概 述	(1)
1-2 电力半导体器件及变流技术	(6)
1-3 变频调速的控制方式及其特性	(19)
1-4 交流传动机车的控制系统	(25)
1-5 交流牵引电动机	(35)

第二章 柴油机节能与强化技术

2-1 概 述	(40)
2-2 提高燃烧有效性,降低燃油消耗率	(40)
2-3 提高石油资源利用率,积极开发新能源	(49)
2-4 采用强化技术,进一步提高柴油机的容积功率	(53)
2-5 控制柴油机有害排放、噪声及振动,减少环境污染	(59)
2-6 开发状态监测、故障诊断技术,提高柴油机工作可靠性	(64)

第三章 机车走行技术的发展

3-1 机车走行部的性能指标	(67)
3-2 机车悬挂装置	(68)
3-3 客运机车牵引电动机全悬挂	(72)
3-4 提高蛇行临界速度	(75)
3-5 径向转向架	(80)

第四章 牵引电动机悬挂及驱动装置

4-1 牵引电动机轴悬式	(87)
4-2 牵引电动机弹性轴悬式	(89)
4-3 牵引电动机架悬式	(90)
4-4 牵引电动机体悬式	(95)

第五章 轮轨关系及蠕滑理论简介

5-1 车轮踏面的等效斜率及重力刚度	(98)
5-2 磨耗形踏面及轮缘磨耗、踏面磨耗	(100)

5-3 轮缘润滑及钢轨润滑	(106)
5-4 蠕滑理论简介	(108)

第六章 我国新型机车介绍

6-1 我国内燃机车发展情况	(112)
6-2 我国新型内燃机车介绍	(116)
6-3 我国电力机车发展概况	(128)
6-4 我国新型电力机车介绍	(130)

第二篇 高速/快速及重载列车

第七章 高速行车及重载运输概论

7-1 国内外高速行车概况	(138)
7-2 我国准高速及高速铁路概况	(142)
7-3 高速铁路牵引供电系统	(144)
7-4 国外高速机车车辆	(147)
7-5 磁悬浮列车简介	(152)
7-6 国外重载运输概况	(154)
7-7 我国重载运输概况	(157)

第八章 高速/快速列车及重载列车牵引计算

8-1 高速快速列车牵引计算	(160)
8-2 重载列车牵引计算	(166)
8-3 高速列车的牵引性能分析	(168)
8-4 准高速列车/快速列车牵引性能分析	(172)
8-5 重载列车牵引性能分析	(175)

第九章 高速/快速列车及重载列车制动

9-1 高速及准高速列车制动	(180)
9-2 重载列车制动	(184)

第十章 重载列车纵向动力学及操纵技术

10-1 列车纵向动力学概述	(201)
10-2 列车纵向动力学的主要内容	(202)
10-3 重载列车操纵技术	(208)

第三篇 机车运用及安全

第十一章 机务管理信息系统

11-1 铁路运输管理信息系统(TMS)简介	(214)
------------------------------	-------

11-2	机务段安全生产管理信息系统	(220)
11-3	机务段机车运用安全微机管理系统	(222)

第十二章 列车运行安全理论及设备

12-1	现代安全理论概述	(234)
12-2	机车运行安全	(241)
12-3	保障机车运行安全的因素分析	(245)
12-4	列车运行监控记录装置	(247)
12-5	高速列车行车安全设备简介	(286)
12-6	行车事故救援	(290)

第四篇 机车维修技术

第十三章 检 测

13-1	传感器原理及应用	(295)
13-2	振动检测技术	(299)
13-3	红外线测量装置	(302)
13-4	光谱铁谱气相色谱分析	(306)
13-5	无损检验	(312)
13-6	非电量的 A/D 转换技术	(316)

第十四章 维 修

14-1	ISO 9000 国际标准系列简介	(321)
14-2	机车的可靠性、维修性与故障理论	(325)
14-3	机车零部件的失效与损伤	(332)
14-4	制订机车维修制度的基本原理	(340)

参考文献	(350)
------------	-------

第一篇 机车新技术

第一章 机车交流传动技术

1-1 概 述

长期以来,在调速传动的生产领域内,大多采用直流电动机传动系统,因为直流电动机的磁场电流和电枢电流可以独立控制,其起动调速性能和转矩控制特性比较理想,并容易获得良好的动态响应。但是,直流电动机在结构上存在接触式的机械换向器,它不仅工艺复杂、价格昂贵,而且在运行中,很容易产生换向火花和发生环火现象。由于换向及环火这一类问题的存在,则要求电动机换向片之间的电压不能过高,这样,使得直流电动机的设计容量和高速时的利用功率都受到限制。例如,电力机车通常采用的直流串励电动机,虽然其调速性能优越,但其高速利用功率只能达到额定功率的75%,单电机的设计容量也很难超1000 kW。目前工业上用的直流电动机,即便转速可以达到3000 r/min,但容量只有400 kW左右,远远不能适应现代生产向高转速、大容量化方向发展的要求。

三相交流电动机,特别是鼠笼型异步电动机,由于其转子上没有机械换向器、也没有带绝缘的绕组,不存在换向火花及环火现象等问题,因此,它的结构简单、运行可靠,能以更高的转速运转。由于交流电动机能克服直流电动机固有的缺点,将它用作铁路机车的牵引传动,最先引起人们的极大注意。

本世纪30年代匈牙利首先创建了单相50 Hz电气化铁路,并制造了采用线绕式异步电动机驱动的电力机车。50年代法国开始大量发展单相交流电气化铁路,试制并采用了使用旋转变流机组的连续变频调速的单——三相电力机车,但由于设备笨重庞大及效率低、成本高等一系列原因而未能得到推广。

60年代开始,随着电力电子技术的发展和变频调速系统的研究成功,交流调速传动又重新受到人们的重视。

70年代中期,在世界范围内出现了能源危机,节约能源成为人们关注的问题。过去许多不调速的传动装置(如风机、水泵等),为了减少无谓的电能损失,也都采用了调速传动,因此,对交流电动机调速技术的发展起了很大的推动作用。

近10多年来,由于大功率电力电子器件和微电子技术的发展,以及现代控制理论和控制技术的应用,交流传动技术无论在工业上或铁路牵引中都取得了突破性的进展。德、法、俄、日、瑞士等国都对采用三相交流传动的电力机车、内燃机车及电动车组等进行了大量的试验研究,其中德国试制的E120型电力机车是当前较成功的一种,而法国阿尔斯通电气集团则倾向于发展同步电机传动技术(如TGV-A型电动车组)。

E120型4轴电力机车为客货两用机车、功率5600 kW,起动牵引力340 kN,最高速度

200 km/h。瑞士联邦铁路发展的 460 型 4 轴机车，最大功率 6 100 kW，起动牵引力 275 kN，最高时速 230 km/h，已成为瑞士铁路主型客货通用机车。三相交流传动的电动车组，大多用于最高时速大于 230 km/h 的高速铁路，如德国的 ICE 型，意大利的 ETR 500 型和法国的 TGV-I 型，其单节机车功率 4 000 kW ~ 4 800 kW，单轴功率 1 000 kW ~ 1 200 kW，起动牵引力 200 kN。

国外发展的主要交流传动机车的主要技术数据如表 1-1 所示。

国外交流传动电力机车和高速动车主要参数

表 1-1

1	车种	电 力 机 车									高 速 动 车		
2	车型	120/120.1	B ₆ /4	EA02	460	EA3 000	1822	EL21	S252	BR26000	ICE	X2000	ETR500
3	国别	德国	瑞士	意大利	瑞士	丹麦	奥地利	德国	西班牙	法国	德国	瑞典	意大利
4	电 流 制 ($\frac{kV}{Hz}$)	$\frac{15}{16 \frac{2}{3}}$	$\frac{15}{16 \frac{2}{3}}$	3/=	$\frac{15}{16 \frac{2}{3}}$	$\frac{25}{50}$	$\frac{15}{16 \frac{2}{3}}$	$\frac{15}{16 \frac{2}{3}}$	$\frac{25}{50}$	$\frac{25}{50}$	$\frac{15}{16 \frac{2}{3}}$	$\frac{15}{16 \frac{2}{3}}$	3/=
5	轴式	B ₀ B ₀	B ₀ B ₀	B ₀ B ₀	B ₀ B ₀	B ₀ B ₀	B ₀ B ₀	B ₀ B ₀	B ₀ B ₀	BB	2 (B ₀ B ₀)	B ₀ B ₀	2 (B ₀ B ₀)
6	使用年代	1979/1987	1987	1988	1990	1984	1990	1992	1991	1988	1985		
7	最大速度 (km/h)	160/200	130	220	230	160	160	230	220	200	280	210	300
8	额定功率 PN (kW)	5600	3000	5600	4800	4000	4200	6400	5600	5600	2×4800	4000	2×4400
9	起动牵引力 kN	340/290	240	264	275	260	280	300	300	320	400	160	400
10	牵引电动机	异步	异步	异步	异步	异步	异步	异步	异步	同步	异步	异步	异步
11	牵引电动机 重量 (kg)	2400	1646	2800	2200	1950	2100			6400			
12	传动比	4.81/4.12	6.056	3.39	3.6667	4.82	5.04						
13	逆变器型式	PWM	PWM/GTO	PWM	PWM/GTO	PWM	PWM/GTO	PWM/GTO	PWM/GTO	反电势换流	PWM/GTO	PWM/GTO	PWM
14	变频器型式	4qs	4qs	斩波	4qs	4qs	4qs	4qs	4qs		4qs	4qs	斩波
15	控制方式	转差电流	同左		直接力矩	转差电流	直接力矩		矢量控制		矢量控制		
16	电气制动	再生	再生	再生	再生	再生	电阻/再生	再生	电阻/再生	电阻	再生		

由表 1-1 可见，三相交流传动机车有着显著优越的技术经济指标。其主要特点是：

(1) 有良好的牵引性能。如合理地利用调压，调频特性，可以实现宽范围的平滑调速，使机车的高速利用功率为 1，恒功调速比可以大于 2，并能发挥较大的起动牵引力。

(2) 功率因数高，谐波干扰小。在交—直—交电力机车上，其电源侧变流器可以采用四象限调节变流器 (4qs)，它通过 PWM 斩波控制方法，可以调节电网输入电流的相位，使所取的电流十分接近正弦，并能在广泛的负载范围内使机车的功率因数近于 1，这在减小对通讯信号的谐波干扰方面和充分利用电网的传输功率方面都有很大的意义。另外，四象限变流器能很方便的实现牵引和再生之间的能量转换，可以获得显著的节能效果。

(3) 动态控制性能和粘着利用好。由于交流异步电动机有较硬的自然特性，其防空转 (机车粘着利用) 性能较好。经过近 10 年的研究，机车牵引控制已用矢量控制或直接力矩控制取代了滑差——电流控制，这些控制技术的应用，不仅能使系统稳态精度高，而且动态性

能好,可使机车的牵引力沿着轮轨之间蠕滑极限进行控制,极适合于当代机车高速、重载牵引的要求。

(4) 功率大、重量轻、运行可靠。由于异步牵引电动机转速可达 $4\,000\text{ r/min}$,所以能够做到功率大、重量轻,其单位重量千瓦 (kW/kg) 是直(脉)流电机的三倍,在机车车体提供的空间范围内,电动机的功率可以达到 $1\,400\text{ kW} \sim 2\,000\text{ kW}$ 。另外,交流电动机没有换向器和电刷装置,机车主、辅电路又可省去许多有触点电器。80年代后期,三相交流机车普遍采用微机控制,并具有故障自诊断功能。因此,交流机车的运行可靠性可以进一步提高。

以上优点,无疑为交流机车的发展开辟了极为广阔的前景。

目前,交流传动技术正趋于成熟,各种交流传动系统已进入了电气传动的各个领域,除机车牵引外,正广泛用于冶金传动机械、机床控制、风机水泵等工业部门。

从选用电动机类型来看,三相交流传动系统可分为异步电动机调速系统和同步电动机调速系统两大类。同步电动机系统又称自调频无换向器电动机系统,它原则上是由一组电力半导体逆变器、同步电动机和转子位置检测器构成。就整个系统而言,无换向器电动机其转速受控于转子位置检测器,即逆变器的开关频率和相位顺序自动跟踪电机的转速,逆变器和转子位置检测器共同作用代替直流电动机的换向器和电刷装置。实质上,它类似于直流电动机的模型,只要调节端电压和励磁就能获得同直流电动机一样的调速特性,并可用直流电动机的电磁关系来分析无换向器电机的基本问题。从世界各国研制情况和倾向来看,德国、瑞士、丹麦等国家重点发展异步牵引电动机的传动系统,并进行了大量的理论分析和试验研究。法国在70年代初开始研制三相交流机车,经过技术方案分析和样机试验,决定优先采用同步牵引电动机传动。同步牵引电动机安装在BB15000型机车的单电机转向架上,该电机定子绕组为三相双星形连接,绕组轴线相移 30° ,转子为凸极式八极结构,电机持续功率为 $3\,200\text{ kW}$,最大转速为 $1\,960\text{ r/min}$,重量为 $6\,900\text{ kg}$ 。前苏联从一开始就在两个方向上开展对三相交流传动系统的研究,分别在BJI80A干线电力机车上采用异步电动机牵引和在BJI80B干线电力机车上采用同步电动机牵引。异步牵引电动机的型号为HB-604,由电压型逆变器供电,电机设计功率为 $1\,170\text{ kW}$,额定转速为 $1\,370\text{ r/min}$,重量为 $3\,900\text{ kg}$,用转差频率等于常数的方法进行控制。同步牵引电动机的型号为HB-601型,设计功率为 $1\,025\text{ kW}$,额定转速为 $1\,160\text{ r/min}$,重量为 $4\,100\text{ kg}$,该电机用端电压、励磁电流和超前角三个独立量进行控制。

总的说来,同步型电路系统和变频装置简单,逆变器系统效率高、成本较低。但同步型电机转子需要独立的励磁电源,并须要装设精确的位置检测传感器,电机的空间利用、维修及功率因数均不如异步型。从已有机车的实际参数比较中得出,同步牵引电机和异步牵引电机相比,其单位重量功率约低10%左右。而异步牵引电动机结构最为简单,几乎不需要维护,如果采用所谓的四象限变流器,则电网功率因数好、谐波干扰小。随着功率半导体性能的不断提高和控制系统的进一步完善,异步牵引电动机的交流传动,更会引起人们的普遍关注。

我国许多科研单位,自70年代开始,已着手进行电力半导体变流技术和三相交流传动的研究,容量从几千瓦逐渐扩大到 400 kW 以上。铁道部门的有关科研机构已于1992年完成了单机容量为 $1\,000\text{ kW}$ 的三相交流传动的地面试验系统。在“地面试验系统”取得试验数据和设计经验的基础上,于1996年又成功研制了功率为 $4\,000\text{ kW AC 4000}$ 型三相交流电力机

车。其主要技术特点是：

① 主电路采用电压型交—直—交变流器。每台机车有四套变流器，每套变流器包括 5 个结构完全相同的二点式半桥电路模块，其中两个组成电源侧脉冲整流器，其余三个组成电机侧逆变器。在四套变流器中，每两套中间直流电路并联，四台逆变器分别向四台三相异步电动机供电。采用电压型电路，可以通过合理选择调制方式和增加电机回路电抗，使电机中电流接近正弦。

② 电源侧变流器为四象限脉冲整流器。采用四象限变流器能大大减少供电网的谐波分量，消除了整流器运行对电网的污染。另外，机车不论牵引或再生工况均可使电网功率因数接近于 1，减少了电网损耗，改善了供电品质。

③ 采用异步电动机牵引。异步牵引电动机具有陡峭的自然特性，便于控制空转或打滑，有利于提高粘着利用。由于无需考虑直流电动机存在的换向和环火问题，所以机车的恒功率速度范围宽，恒功调速系数达到 2。

④ 辅助回路由交直交辅助变流器供电。机车共安装两套辅助变流器，每套由一个整流器向两个逆变器供电，并分别驱动若干个辅助电动机。逆变器由 GTO 晶闸管构成，每个容量为 30 kW。所有辅助电动机均为软起动，并实现了稳频稳压供电，辅助电路系统的可靠性有很大的提高。

⑤ 系统采用小逆变器——大电机设计原则，具有较优越的牵引特性。控制方式为恒力矩起动和恒功率运行。从起动至 10 km/h 的低速区内，机车克服起动阻力并保持足够的加速度，恒力矩和恒功率在额定速度点转换。在恒力矩区段，采用 PWM 方式调制方式，逆变器输出频率和幅值可调的三相电压，在恒功率区段，逆变器按方波电压供电并保持输出电压恒定。

⑥ 逆变器采用正弦波中间 60°区的脉宽调制。理论分析和实际运行证明，这种调制方案电压不含偶次谐波，且基波含量较大，另外三相电压对称性较好。

⑦ 采用了微机控制系统，除实现特性控制、防空转控制、电机损耗估算和逻辑控制等功能外，还能对系统进行检测和诊断，并向司机显示信息。

AC4000 交流机车的基本技术数据为：

① 机车牵引性能参数

供电电压	单相交流，25 kV，50 Hz
轴式	B ₀ —B ₀
额定功率	4 000 kW
额定速度	60 km/h
最大允许速度	120 km/h
牵引力	
持续	240 kN (在 59.3 km/h 时)
起动	325 kN
功率因数	≥ 0.98 (20% 额定功率以上)
电气制动(再生)功率	3 200 kW
恒功速度比	2
等效干扰电流	< 4 A

3、5 次谐波含量 < 1%

② 电气部件主要参数

整流器输入电压 1 450 V

中间回路直流电压 2 800 V

逆变器输出电压 0 V ~ 2 200 V (三相线电压)

频率 0 Hz ~ 140 Hz

输出最大电流 500 A

三相异步牵引电动机参数

额定功率 1 025 kW

三相线电压 0 V ~ 2 200 V

最大起动电流 500 A

最大力矩 12 000 N·m

最大转速 2 380 r/min

持续额定力矩 8 500 N·m (在 59.3 km/h 时)

效率 0.95

绝缘等级 H 级

通风方式 强迫风冷 110 m³/min

重量 2 440 kg

国产 AC4000 型交流电力机车的研制成功,是我国机车电传动发展中有重大影响的一步,标志着我国电力电子及交流传动技术正在进入现代高科技领域。

交流传动是一门现代跨学科的技术,它涉及到电力电子器件、变流电路、交流电机、控制理论及微电子学等许多领域。经过近 20 年的发展,交流传动在工业上和交通运输业中已开始广泛应用。但是,由于这一领域所具有的跨学科的特点,因此,交流传动系在控制理论方面和许多实用技术上还有待进一步发展。可归纳为以下几个方面。

(1) 大力发展适用于电力牵引的自关断的电力电子器件

任何一种新型电力电子器件的问世,都使得交流传动技术向前推进一步。现在,应用于交流传动机车上的主变流器和辅变流器以及四象限脉冲整流器等组件,迫切需要大容量、高可靠性的自关断器件。目前,在西欧和日本,用于电气牵引传动较多地用 GTO 器件,其技术性能和经济效益已为人们所公认。新一代 MOS 型的场控器件(如 IGBT 和 MCT)的研究,将成为今后发展的主要方向。

(2) 加深对交流传动控制理论的研究

交流传动系统是一个多变量、非线性和强耦合的系统,通常电压(或电流)和频率是可控的输入量,输出量则是转速、位置和转矩,它们彼此之间都是非线性耦合。开始发展的几种控制系统都是基于反馈环节来实现系统的控制。近年来,现代控制理论的应用又促进多种控制系统的诞生,并解决了传统反馈控制所不能解决的动态响应问题。例如取得重要突破的矢量控制系统以及正在发展的变结构控制系统和自适应控制系统。

继矢量控制系统之后,交流传动控制的另一新的突破是直接力矩控制,并在德国和奥地利等国新一代交流传动机车上采用。它与矢量控制不同,无需进行复杂的坐标变换及矢量值的计算,而是直接在定子坐标系上计算电机的磁链和转矩,并与给定值相比较,通过两点式

调节器进行力矩的直接调节,能使系统的静、动态响应得到提高,它将是迄今最佳的控制方法,很有发展前景。

(3) 继续发展交流传动系统中的调制技术

交流传动系统中的电力变换器(包括整流器和逆变器),都属于开关电路。电路中开关器件的通断,从根本上破坏了交流电压、电流的连续性和正弦性。电压和电流中的高次谐波,给电源电网和负载电机运行带来严重的危害。谐波电流产生的脉动转矩,会引起电机的轴振动和运行的不稳定性。减小谐波含量的最有效办法是电力变换器采用脉宽调制(PWM)技术。

PWM控制其基本原理是用等幅不等宽、并按一定时间排列的脉冲波来逼近所需要的正弦曲线。经过近20年的发展和应用,形成了许多实用而有效的方案。随着微电子技术的发展,目前已发展了几种专用于产生PWM信号的集成电路芯片。如英国Mullard公司的HEF4752 V、日本SANKEN公司的MB63H110芯片等。这些芯片集许多功能于一体,较好地解决了逆变器正弦脉宽信号的产生。德国西门子公司还推出一种新的集成电路芯片SLE4520,它的功能很强,可以使逆变器输出频率达2600 Hz,开关频率可达20 kHz。目前,PWM控制新的方案的研究仍然是交流传动技术的一个热门课题。

(4) 大力开发研制和逆变器最佳匹配的变频调速电机

变频调速交流电动机与普通工频交流电动机相比,其运行条件和特性要求都不相同。为适应变频调速系统的运行,必需专门设计和逆变器配合使用的电动机,国外各大电气制造公司都是这样做的。变频电动机的设计制造,应考虑以下诸方面的技术问题。

① 根据选用逆变器类型的不同,电动机参数有不同的设计方案。主要是降低谐波电流和抑制换流时产生的尖峰电压。

② 提高低速时的转矩特性和扩大高速区的恒功范围。即要求电动机起动时有较大的起动转矩和电机在最大速度点上有一定的过载力矩。

③ 考虑高速运行时的技术问题。目前,逆变器输出频率已达到120 Hz~240 Hz,甚至400 Hz,电机转速高达10000 r/min以上。因此,应充分考虑高速化带来的噪声、转子动平衡精度、及高速轴承等技术问题。

④ 对于诸如矢量控制所要求的高动态性能的系统,与其配套的电机则要求惯性小,并考虑高精度检测装置的安装问题。

总的说来,目前交流传动已经作为一种技术性能上完全肯定的系统,正大规模进入电气传动的各个领域,许多国家已实现了产品系列化,成为传动调速系统发展的一个主要方向。

1-2 电力半导体器件及变流技术

1. 电力半导体器件的发展

电力半导体器件是构成各种变流电路中最关键的器件,其性能的优劣在很大程度上决定变流设备的技术经济指标。

50年代初期普通整流器SR(Semiconductor Rectifier)已获得应用,开始取代汞弧整流器,因为它的正向通态压降较低(约1 V左右),从而大大提高了整流电路的效率。

50年代末期,美国研制出世界上第一只反向阻断型可控硅SCR(Silicon Controlled Recti-

fier), 后称晶闸管 (Thyristor), 使研制逆变器和变频器成为现实。经过 10 多年的工艺完善和应用开发, 晶闸管已实现了从低压小电流到高压大电流的系列产品。在此期间, 世界各国还研制出晶闸管的派生器件, 如不对称晶闸管 ASCR (Asymmetrical Thyristor)、逆导晶闸管 RCT (Reverse Conducting Thyristor)、双向晶闸管 (TRIAC)、光控晶闸管 (LASCR) 等。这些器件的绝大多数主要应用在低频 (400 Hz 以下) 领域, 在工业应用中主要解决了传统的电能变换装置中的能耗大和设备笨重的问题。但晶闸管多数是换流型器件, 其工作频率又比较低, 致使高开关频率的脉宽调制技术难以实施, 并带来了变流电路的复杂化。

随着交流传动技术的发展, 迫切需要大功率并能进行开通和关断的全控型器件, 以便使复杂的变流电路简化。80 年代初产生了新一代全控型高频化的自关断晶闸管 GTO (Gate-Turn-Off Thyristor), 由它构成的逆变电路, 可以省去复杂庞大的换流回路, 带来性能好、效率高、体积小等一系列优点, 并将大功率变流技术推进到一个新的发展阶段。

自 50 年代初美国贝尔实验发明第一只晶体管以来, 到 70 年代, 用于电力变换的功率晶体管 (Giant Transistor-GTR) 已进入工业实用阶段。最近 10 年, 研究人员又在改进工艺及晶体管模块化、驱动电路集成化等方面进行许多研究, 使功率晶体管性能变得更好。功率晶体管的工作频率比晶闸管高, 非达林顿功率晶体管工作频率高达 20 kHz, 这样, PWM 技术在功率晶体管中得到了广泛的应用。目前, 功率晶体管广泛地应用于中小功率电机变频调速、不间断电源 (UPS) 以及数百千瓦以下的功率变换电路。但因功率晶体管存在着二次击穿、不易并联以及开关频率仍然偏低等问题, 它的应用面受到了限制。

70 年代后期, 功率场效应管 (Power Mosfet) 进入实用阶段, 这标志着电力半导体器件在高频化进程中一次重要的进展。它具有工作频率高 (几十千赫至数百千赫)、开关损耗小、安全工作区宽、输入阻抗高等优点, 是一种场控自关断器件。但由于其导通电阻随电压增加很快, 因而限制了它在高频中大功率领域中应用。

由于提高电力电子器件的工作频率能获得很大的技术经济效益, 在 80 年代, 最引人注目的成就是开发出双极型复合器件, 这种器件属于 MOS 场控器件, 兼有 MOS 器件和双极型器件的突出优点, 是较为理想的高频、高压和大电流的电力电子器件。其中被认为最有发展前途的是绝缘栅双极型晶体管 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 和 MOS 栅控晶闸管 MCT (MOS Controlled Thyristor)。目前, 300 A/1 200 V 的 IGBT 已经工业化生产, 正在研制 500 A ~ 1 000 A/1 500 V ~ 2 000 V 的器件。1992 年 MCT 已达到实用阶段, 研制水平为 300 A/2 000 V, 1 000 A/1 000 V, 最高电压为 3 000 V。这两种场控器件, 其工作频率都超过 20 kHz。它们的出现为工业应用领域的高频化开辟了广阔的前景, 都可以应用于高载波频率的变频调速系统、UPS 电源和开关电源以及各种高性能、低损耗和低噪声的场合。随着电力电子器件的进一步发展, IGBT 有取代 GTR 和 MOSFET 的趋势, MCT 也有取代 SCR 和 GTO 的趋势, 而成为今后一段期间内电力电子器件的主要成员。

在器件复合化思路的基础上, 工业先进的国家正在研制开发功率集成电路 PIC (Power Integrated Circuit) 和智能功率集成电路 SPIC (Smart Power IC), 它们是电力电子和微电子相结合的产物, 特别是后者, 是把能承受高电压大电流的功率器件和起控制作用的逻辑电路 (驱动电路、保护电路、检测电路) 以及自诊断功能电路等集合在一起。这种集成功率器件应用起来更加方便、更加可靠, 能使变流装置进一步向小型化、智能化和节能化方向发展, 并促使传动调速与电子信息学科相结合, 为机电一体化开辟了广阔前景, 将成为其它各项高科技