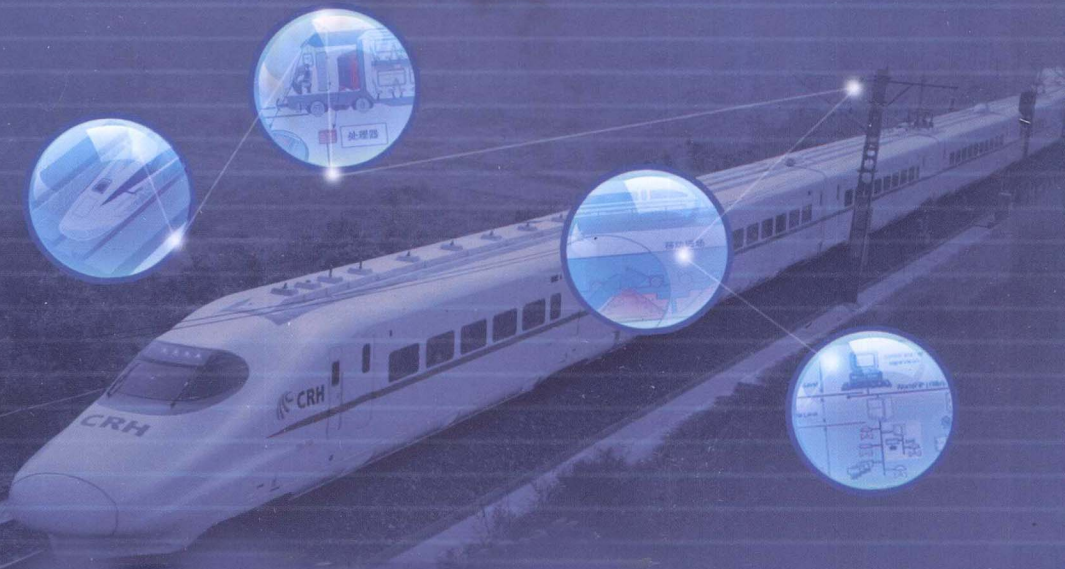


高等学校教材

Dianli Qianyin Yu Kongzhi

电力牵引与控制

谢维达 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高 等 学 校 教 材

电 力 牵 引 与 控 制

谢维达 编著
刘友梅 主审

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 1 0 年 · 北 京

内 容 简 介

本书系统地阐述了电力牵引系统的结构、组成和基本原理。主要包括:电牵引基本原理、电力牵引系统、直流牵引系统、交流牵引系统、电气制动、列车微机控制系统等。

本书可作为铁路机车车辆专业、轨道交通车辆专业、电力牵引专业与电气传动专业的本科生教材,也可作为相关专业硕士研究生和从事轨道交通牵引与控制方面技术工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力牵引与控制/谢维达编著. —北京:中国铁道出版社,2010.3
ISBN 978-7-113-10962-2

I. ①电… II. ①谢… III. ①电力牵引-控制系统-高等学校-教材 IV. ①TM922

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 034239 号

书 名:电力牵引与控制

作 者:谢维达 编著

责任编辑:金 锋 电话:010-51873134 电子信箱:zhuminjie_0@163.com

编辑助理:朱敏洁

封面设计:崔 欣

责任校对:孙 玫

责任印制:陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:三河市华业印装厂

版 次:2010年3月第1版 2010年3月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:10.25 字数:252 千

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 978-7-113-10962-2

定 价:20.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

电力牵引是我国最主要的轨道交通牵引方式。近年来我国轨道交通发展迅猛,从以往单一的铁路形式发展成为包括高速铁路、城际客运专线、城市地铁和轻轨以及磁浮列车等在内的多种形式,轨道交通已经成为人们出行选择的最重要的交通方式。随着轨道交通的发展,电力牵引技术也得到了极大地提高和发展。目前电力牵引系统已经基本上都采用了交流传动系统,微机、网络、FPGA 和智能控制等先进技术都在电力牵引系统中获得了广泛的运用,新型的电力牵引和控制系统在不断涌现。

为了适应轨道交通电力牵引与控制系统的的发展状况,本书在编写的过程中做了以下几个方面的努力:

1. 尽可能比较全面地反映当前电力牵引系统的状态和水平,并力求在理论上也有一定的深度。
2. 内容力求结合实际,将当前实际应用的系统和技术结合进书中。
3. 介绍各方面的先进技术。
4. 力求对电力牵引与系统做一个比较全面的介绍,以适应不同层次人员的需求。

全书内容共分 8 章,第 1 章介绍了电力牵引系统的发展历程以及我国电力牵引的发展;第 2 章从轮轨关系的作用论述了电力牵引的基本原理,以及黏着、牵引特性、牵引运动方程等基本概念;第 3 章介绍了电力牵引系统的系统构成及主要部件和设备;第 4 章较详细地介绍了直流牵引系统的基本原理和控制模式;第 5 章主要介绍了交流牵引系统的工作原理和控制模式;第 6 章对电气制动的原理及各种电气制动方式做了分析,并介绍了实际运用的电阻制动及其控制;第 7 章对黏着控制这个轨道交通牵引中特有的问题做了论述和介绍,并运用实际系统对黏着控制系统进行了详细的分析;第 8 章对微机控制系统的结构和功能进行了论述,介绍了典型的控制网络及控制系统。

本书在编写过程中得到了钱存元老师的协助,杨超、周宇恒、庄凌昀、蔡蕾、徐磊、胡浩等为本书做了一些文字和插图方面的工作,全书由刘友梅主审,在此一并致谢!

由于编著者的水平有限,书中难免存在错误和不妥,殷切期望读者批评指正。

编 者

2010 年 2 月

1 绪 论	1
1.1 牵引动力的配置	2
1.2 电力牵引控制的要素	5
1.3 电力牵引的历史	6
1.4 我国电力牵引的发展历史	8
复习思考题	14
2 电牵引原理	15
2.1 牵引基础	15
2.2 轮轨滚动接触理论	18
2.3 列车运动方程	21
2.4 牵引特性	25
2.5 牵引计算	28
复习思考题	34
3 电力牵引系统	35
3.1 电力牵引系统的供电制式	35
3.2 电力牵引系统的主要设备	37
3.3 电力牵引系统的类型	41
3.4 牵引系统电路	44
复习思考题	51
4 直流牵引系统	52
4.1 直流牵引电动机的牵引性能	52
4.2 直流牵引系统的牵引特性	56
4.3 牵引变流装置	58
4.4 直流牵引系统的控制	63
4.5 直流牵引系统的应用	67
复习思考题	74
5 交流牵引系统	75

5.1 概 述	75
5.2 交流异步电动机的调速	76
5.3 交流牵引系统的逆变器	79
5.4 交流牵引系统的控制	88
5.5 交流牵引系统的运用	94
复习思考题	99
6 电气制动	100
6.1 概 述	100
6.2 电阻制动和再生制动原理	104
6.3 电阻制动	106
6.4 再生制动	113
复习思考题	117
7 黏着控制	118
7.1 概 述	118
7.2 黏着控制模式	119
7.3 黏着控制系统的性能指标	122
7.4 内燃机车的黏着控制系统	123
7.5 电力机车的黏着控制系统	126
复习思考题	130
8 列车微机控制系统	131
8.1 列车微机控制系统的结构	131
8.2 车载微机 MCV 的组成	134
8.3 列车控制网络	138
8.4 微机控制系统的应用实例	148
复习思考题	155
参考文献	156

1

绪 论

在交通运输工具中采用电动机驱动的电气传动部分,称为电力牵引系统。电力牵引系统以牵引电动机为控制对象,通过开环或闭环控制系统对牵引电动机的牵引力和速度进行调节,以满足车辆牵引和制动特性的要求,从而实现对各类交通运输工具的运行控制。电力牵引系统的应用范围很广,包括水上的运输船只,陆上的大型矿用载重汽车以及电气传动的电动轿车,但主要是指运用于各种轨道交通的交通工具如干线铁路电力机车、内燃机车、矿山用电力机车、城市地铁列车、轻轨列车、城市有轨电车以及磁悬浮列车等。

人们对于任何运载工具的基本要求是速度、安全和舒适,这三条也是任何交通工具运行控制的基本要素。电力牵引控制系统的基本功能就是将人们对于运行的要求转化为对牵引电动机的控制参数,使牵引电动机按照人们所期望的运行方式运转工作。

随着社会的现代化进程和城市化的进程以及人们生活节奏的快速化,对交通工具的要求也越来越高,在各种交通工具的激烈竞争中,轨道交通工具已经成为人们出行和解决城市交通拥挤和减少环境污染的最好选择。目前国外干线铁路的运行速度在 200 km/h 以上的已经非常普遍,日本新干线上的一些列车运行速度已经达 300 km/h,法国 TGV 的试验速度达到了 574.8 km/h。除了干线铁路之外,遍及城市各个角落的地铁和轻轨列车为城市拥挤的地面交通带来了新的希望。我国也已经有了 200 km/h 等级的高速客运专线。北京、广州、上海、南京、深圳等城市也都建立了或正在建设各自的地铁和轻轨网络。欧洲一些城市已经出现了完全不同于原来意义上的城市有轨电车。另外磁悬浮列车作为一种新型的轨道交通工具已经开始进入了人们的生活,上海浦东线的高速磁悬浮列车其最高运行速度达到了 431 km/h,在点对点的高速交通方式上具有航空交通的性能和特点。可以这么说,由于电力牵引系统功率大、效率高、消耗能源小、适应性强、易于应用新技术等明显的优点,已经为绝大多数国家和广大人民群众所接受,正在成为新世纪主要的交通运输形式之一,并将在可预见的未来的国民经济和人民生活扮演着极其重要的角色。

干线铁路在世界不同地区和不同国家的运用都有所侧重和特点。欧洲各国主要侧重于高速客运,因此欧洲的高速铁路包括高速列车发展早、技术水平高;美国、加拿大等北美国家以及澳大利亚主要侧重于货运,因而其重载列车及大功率内燃机车的发展具有比较高的技术水准;中国、俄罗斯、印度等国家的铁路则是客货混运,因此运输的周转量很大,运输组织的水平较高,但在装备技术的发展方面有局限性。

轨道交通是我国最主要的交通运输方式,国家已经制订了轨道交通发展的战略规划。在干线铁路方面主要是以客货分流为目标,加大客运专线的建设和高速动车组的设计、制造;在城市轨道交通方面则大力发展地铁、轻轨、城市有轨电车等各种形式的轨道交通,改善城市交通的状况,满足人们对于出行的要求,并在列车、车辆、信号等装备方面形成自主化的设计、生

产能力。一个大规模的轨道交通建设时期已经到来,我国轨道交通的技术,尤其是电力牵引系统以及其他装备技术将有重大的发展。

1.1 牵引动力的配置

轨道交通列车的动力来源于牵引电动机,牵引电动机在列车上的布置称为动力配置。采用电力牵引系统的轨道交通工具主要有 2 种动力配置方式,即动力集中方式和动力分散方式。所谓动力集中方式就是牵引动力装置都集中在一节称为机车(locomotive)的车辆上,由这节机车牵引其他十几节、二十几节客车(passenger car)或者几十节货车(fright car)运行,如图 1.1 所示。这是传统的铁路列车的牵引组成方式,也是我们常见的列车方式。

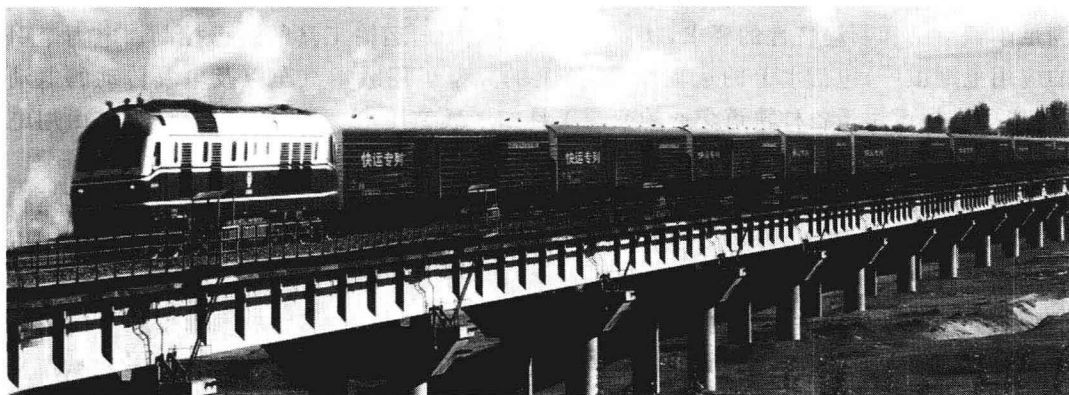


图 1.1 动力集中方式

动力集中方式是传统的铁路列车牵引组成方式。为了加大牵引吨位也可以采用多个机车重联的牵引方式,即将 2 台甚至 3 台机车连接在一起,或者一头一尾来牵引列车,这主要运用于重载货运列车。机车牵引方式的特点是电力牵引系统集中在一节车辆内,传动装置的功率大,控制系统的结构简单。但要求的牵引力和黏着之间的矛盾比较突出,在重联牵引时特别是一头一尾的牵引方式下,重联控制的问题比较复杂。

动力分散方式是将牵引动力装置分散到多个称为动车(EMU)的车辆上,并与其他无动力的车辆(称为拖车)组成一个单元(unit)。每个单元由 2 节、3 节、4 节或更多节车辆组成。但组成方式可以是 1 动 1 拖、2 动 1 拖、2 动 2 拖、3 动 1 拖、4 动 2 拖、5 动 1 拖甚至是全动车。每列列车由 2 个、3 个或 4 个单元组成,称为动车组。动力分散方式主要运用于铁路的干线客运列车、城市轻轨列车和城市的地铁列车。图 1.2 是德国 ICE3 型动力分散型电动车组,它由 2 个单元组成一列,每个单元有 2 节动车和 2 节拖车。

动力分散方式是从地铁列车的牵引方式派生出来的,日本最早在新干线上使用了这种牵引方式。20 世纪 90 年代欧洲国家也开始生产动力分散型电动车组,出现了像 ICE3、ICE6、Euro-Star 等动车组。动力分散的主要特点是黏着利用好,列车起动、加速快,动力储备量大。但是由于其电牵引系统分散在多节动车内,列车的控制系统相对复杂,传动装置的数量也成倍增加。图 1.3 是日本新干线使用的 JR500 系电动车组,它是由全动车组成的列车。

城市的地铁和轻轨列车基本上都采用动力分散方式。地铁、轻轨列车相对干线铁路列车

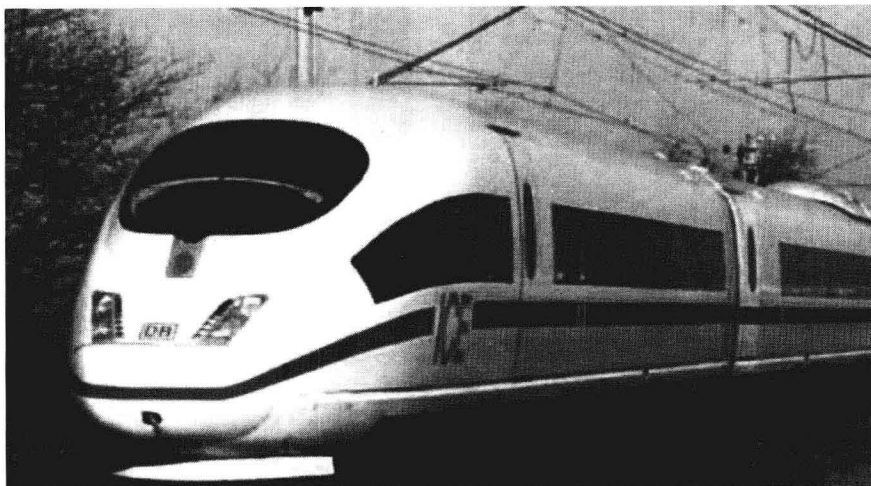


图 1.2 ICE3 电动车组

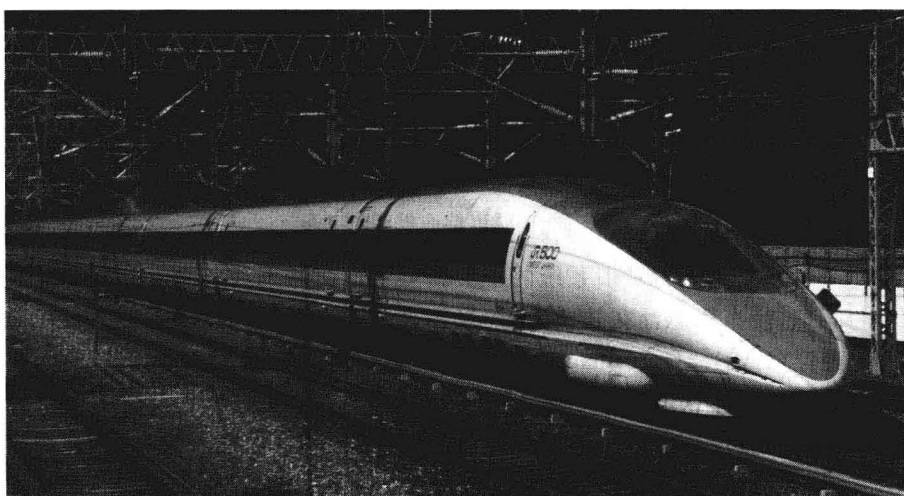


图 1.3 JR500 系电动车组

的主要区别在于车辆的轴重,即每节车辆平均分到每个轮对的重量。地铁、轻轨列车的轴重基本在 16 t 以下,而干线铁路机车的轴重基本在 20 t 以上,动车组动车的轴重一般也在 18 t 左右。

除了地铁列车和轻轨列车之外,用于城市交通的轨道车辆还有多种其他形式。图 1.4 是跨坐式单轨列车;图 1.5 是悬挂式轨道车辆;图 1.6 是新型的城市有轨电车,这种新型城市有轨电车的主要特点是车厢地板离正常路面很近,一般为 20~30 cm,上下车很容易,因此也称低地板电车。这种电车能实现这样的低地板结构,主要在于它采用了独立轮驱动的方法,即每个车轮都有一套独立的电牵引系统驱动,因此就没有了轮对的概念。去掉了两个车轮之间的连接轴,中间的地板自然就可以做的很低了。新型低地板电车在欧洲已经运用得非常普遍。我国的大连、长春也已经有了这一类的新型电车。人们对于这种形式的市内交通工具寄予了很大的希望。

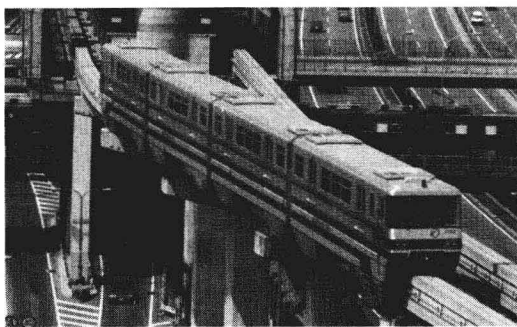


图 1.4 跨坐式单轨列车

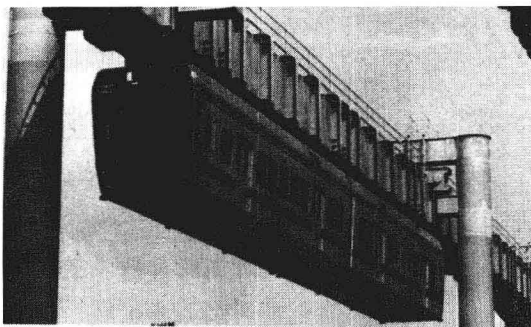


图 1.5 悬挂式轨道车辆



图 1.6 城市低地板有轨电车

磁悬浮列车也是采用电力牵引系统的一类新型轨道交通工具。磁悬浮列车是利用磁铁的相吸或相斥的原理,使车辆悬浮在轨道上方,采用直线感应电动机驱动车辆运行。磁悬浮的方式可分为电磁悬浮(EMS, Electromagnetic suspension)和电动悬浮(EDS, Electrodynamic suspension)。电磁悬浮是利用电磁铁相吸原理,如图 1.7 所示;电动悬浮是利用车载磁铁在运动中在轨旁的感应线圈中产生感应电流并建立相同的磁场,相斥而使车辆悬浮,如图 1.8 所示。

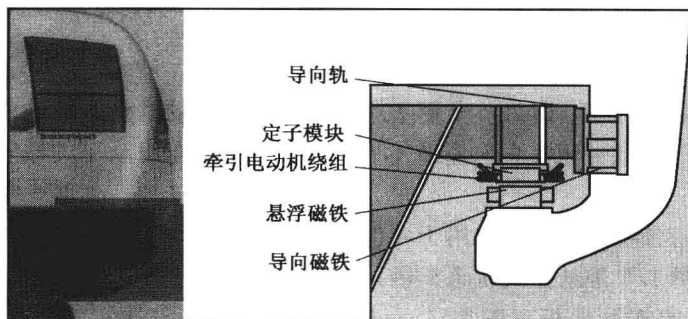


图 1.7 电磁悬浮原理示意图

磁浮列车的电力牵引系统都是以交流线性电动机为控制对象的,基本上属于动力分散型。按线性电动机的结构可分为长定子方式和短定子方式。长定子方式是将定子及其绕组置于轨道下方,以车辆本身作为转子,通过轨旁的交流牵引控制系统控制线性电动机的转速即车辆的

行驶速度,图 1.9 是长定子线性电动机的原理示意图。长定子方式适合于较高速度的磁悬浮列车牵引,德国的 TR 型常导磁浮列车和日本的 MLX 型超导磁浮列车都采用了长定子直线同步电动机牵引。短定子直线电动机是将定子安装在车辆上,转子安装在轨道上。短定子直线感应电动机结构相对长定子感应电动机来说比较简单。制造成本低,但其效率和功率因数相对较低。运行中需要地面供电装置对列车接触供电,不能实现车辆和线路之间完全无接触地运行。所以更适合用在低速磁浮列车上。日本的 HSST 型低速磁浮列车就是这样的结构方式。

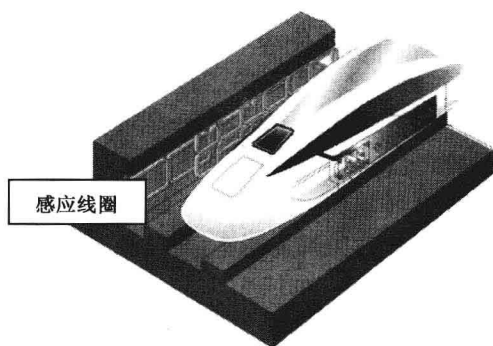


图 1.8 电动悬浮原理示意图

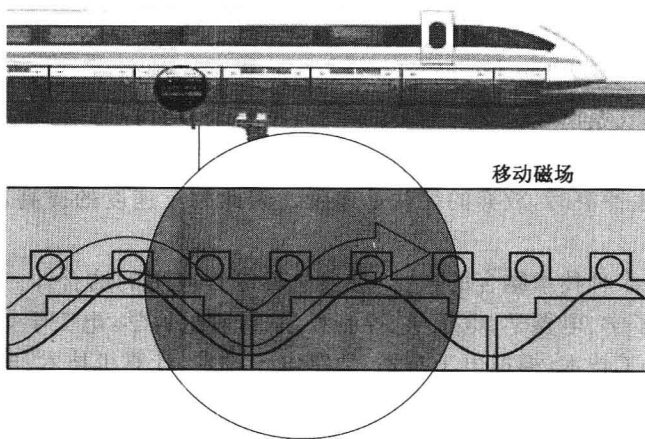


图 1.9 长定子直线电动机原理示意图

图 1.10 是上海浦东线的磁浮列车;图 1.11 是日本电动型磁浮列车。

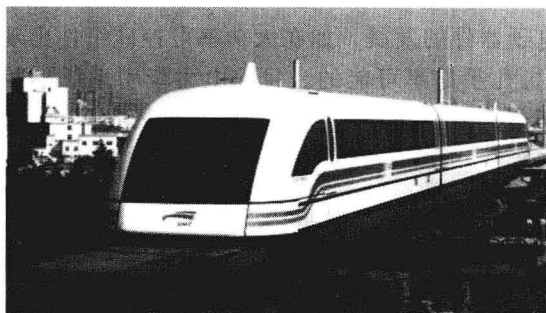


图 1.10 上海浦东线磁浮列车

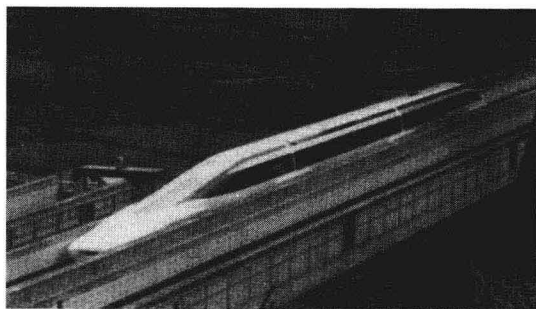


图 1.11 日本超导磁浮列车

1.2 电力牵引控制的要素

速度是轨道交通运输工具永恒的主题,也是电力牵引系统的主要控制目标。调速是电力

牵引系统的基本功能和首要任务,而且轨道交通车辆的调速范围相当宽广,因此这也是电力牵引系统与一般电气传动系统的主要区别。

按照轨道交通列车的运营速度可以分为普通列车、中速列车、快速列车、高速列车和特高速列车。运营速度低于 120 km/h 的列车称为普通列车,目前我国普通旅客列车、货运列车以及城市地铁和轻轨列车均属于这个范围;运营速度在 120 km/h 到 160 km/h 之间的称为中速列车,目前我国干线铁路上的旅客快车就在这个等级之内;运营速度在 160 km/h 到 200 km/h 的列车称为快速列车,当前我国的提速列车,如上海——北京的直达快车就是属于快速列车;运营速度在 200 km/h 到 400 km/h 的称之为高速列车,如日本的新干线,我国的秦沈客运专线以及即将修建的京沪客运专线都属于高速列车;运营速度在 400 km/h 以上的就是特高速列车了,目前上海浦东线的磁浮列车,可以归在这个范围内。2007 年 4 月 12 日法国 ALSTOM 公司的高速试验列车 V150 达到了 574.8 km/h 的速度,获得了轮轨方式下的最高速度,这意味着特高速铁路已经不只是一个概念了。但不论是哪一种速度等级的轨道交通工具,其电力牵引系统的基本原理、基本控制模块都是相同的。只是由于速度等级的不同,其驱动装置和控制方式有所不同。

安全、舒适是轨道交通运输工具的另一个重要课题,安全则是最重要的主题。因此电力牵引系统作为铁路列车或城市轨道交通列车的核心,将安全性目标和舒适性目标放在第一位是理所当然的。从系统的结构设计、控制模式选择等无不表现出安全性和舒适性的重要地位,当安全、舒适与速度发生冲突时,放弃的往往是速度。因此列车速度的提高,即意味着技术的提高。

电力牵引系统是多种技术结合的产物,是多学科综合应用的结合体。从学科上来说它包含了电机学、电力电子学、电器学、电子学、控制科学、计算机科学、电工学等多门学科。在电力牵引系统中运用了电工技术、模拟电子技术、数字电子技术、计算机技术、电力电子技术以及自动控制技术等。从运用的器件上来说电力牵引的传动系统大致上经历了三代,即引燃管、硅整流组件到目前的 IGBT 和 IPM 模块;从牵引控制上来说也基本上可以分为三个阶段,即继电器逻辑控制、模拟和数字逻辑电路控制、采用微处理器的智能控制。换一个角度我们也可以说是从开环控制到闭环控制,目前已经进入到采用模糊控制,自适应控制等的人工智能控制。

电力牵引系统的发展在很大程度上依赖于电子器件的发展。如在大功率可控硅组件出现之前,在电力牵引系统中采用交流异步牵引电动机几乎是不可能的。目前电力牵引系统的控制已经进入到嵌入式控制和网络控制的年代。相信随着电子技术和计算机技术的发展,电力牵引系统也会随着发展到一个更新更高的程度。

1.3 电力牵引的历史

以电力作为能源的电气牵引驱动技术,发展到现在大约有 120 多年历史。当今无论从变流技术、控制技术的硬件与软件都有了翻天覆地的变化。从下列的发展进程中,我们可以清楚地看到由于电气设备、元器件的不断发展推动整个电力牵引技术发展的过程。

- 1879 年,德国西门子公司展示了第一辆电力机车,如图 1.12 所示。
- 1881 年,德国柏林首辆有轨电车投入运营,如图 1.13 所示。
- 1883 年,德国投入运营的电力机车雏形,如图 1.14 所示。



图 1.12 西门子公司展示第一辆电力机车

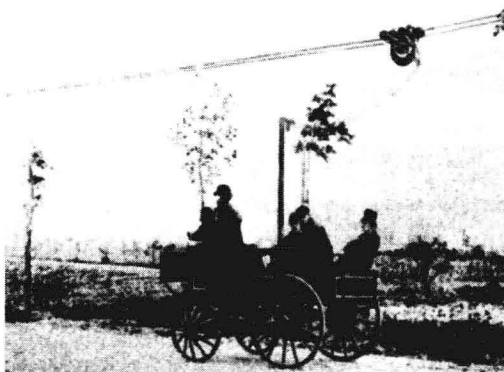


图 1.13 德国柏林首辆有轨电车

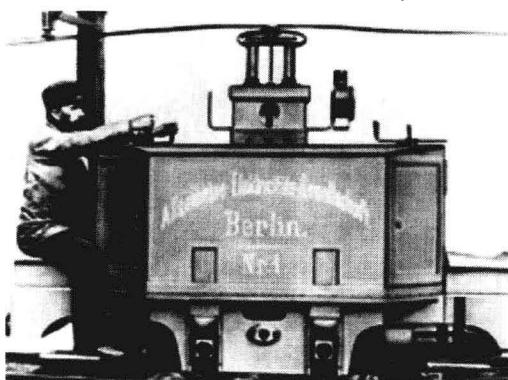


图 1.14 德国电力机车雏形

• 1903 年,试制成功时速 210 km/h 三相交流高速电机车,如图 1.15 所示。但采用三相电网,不能变频/变压,调速困难,因而是止步。

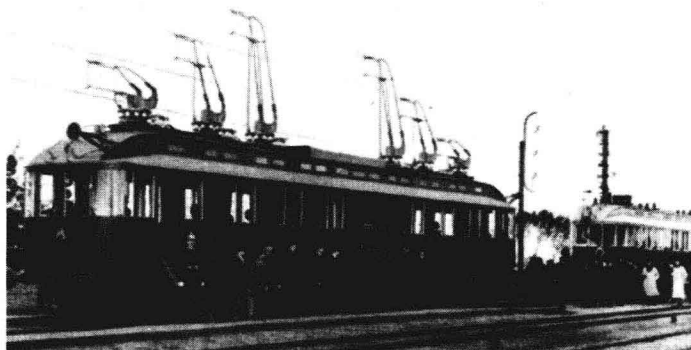


图 1.15 三相交流高速电机车

- 1905 年,德国西门子公司制造的单相交流 5.5 kV/16 Hz 电机车投入商业运行。
- 1912 年,德国、奥地利、挪威、瑞典、土耳其均相继出现单相交流电气化铁路,采用 15 kV、 $16\frac{2}{3}$ Hz 的单相交流电源供电。其余国家分别采用直流 750 V、1 500 V、3 000 V 的电

气化线路。

- 1955 年,德国研制成功水银整流电机车。
- 1965 年,德国首先研制成功晶闸管(可控硅组件),可控制的整流电力牵引车辆,并投入试运行。
- 1979 年,世界第一台交流传动电力机车 BR120 在德国诞生。
- 20 世纪 90 年代,德国研制成功 GTO(可关断晶闸管)组件,应用于新型电力牵引车辆。90 年代末德国开发成高压 GTO(6.5 kV/3 000 A)组件,并应用在电力牵引车辆上。
- 20 世纪 90 年代,IGBT(IPM)器件在日本获得成功应用,开始取代 GTO 器件。
- 2000 年后,IGBT(IPM)器件在电力牵引系统中全面取代 GTO 器件。图 1.16 是日本 2000 年投入运用的 700 系动车组。

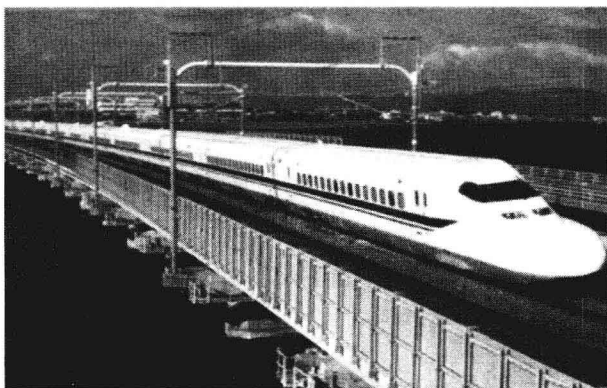


图 1.16 700 系高速列车

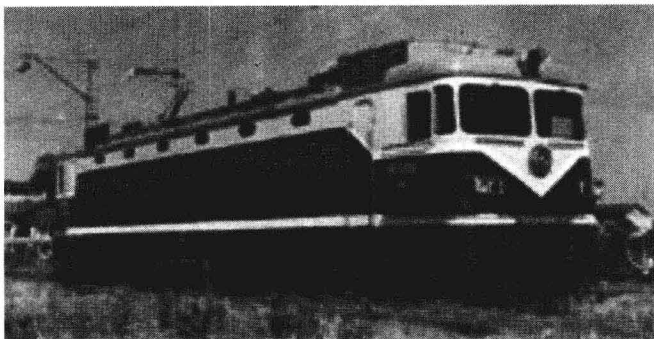
1.4 我国电力牵引的发展历史

我国电力牵引系统的应用已经有近 100 年的历史。1914 年抚顺煤矿使用的 1 500 V 直流电力机车是我国最早使用的电力机车。1949 年之前我国没有电气化铁路,也不存在电力机车牵引。20 世纪 50 年代我国开始的第一个五年计划启动建设了第一条电气化铁路——宝成线,由此开始了我国电力牵引的应用和发展。我国电力牵引系统的发展是随着电传动车(包括电力机车和内燃机车)的发展而发展的,是随着动车组以及城市轨道交通车辆的发展而发展的。我国电力机车、内燃机车、动车组、地铁车辆的发展历史就是电力牵引系统的发展历史。

1.4.1 我国电力机车和动车组的发展

1958 年 12 月 28 日,中国第一台干线铁路电力机车试制成功,当时命名为 6Y₁ 型。机车采用引燃管整流,机车持续功率 3 410 kW,最高速度 100 km/h。在此基础上,从引燃管整流器到硅整流器,不断改进和提高机车的性能,并正式命名为韶山型(SS₁)电力机车。SS₁ 型到 1976 年 131 号时已基本定型(如图 1.17 所示),截止到 1989 年停止生产,SS₁ 型电力机车总共制造了 926 台,成为中国电气化铁路干线的首批主型机车。

韶山型(SS 型)电力机车是采用直流牵引系统的电力机车系列,共有 9 大型号,SS₁~SS₉,其中还有许多子型号,如 SS_{4G}、SS_{7E} 等。从 SS₁ 到 SS₉ 我国直流牵引的电力机车走过了近 40

图 1.17 SS₁ 型电力机车

年的历程,在这过程中电力牵引系统的技术得到了很大的发展。从引燃管整流器到硅整流器到可控整流器;从有级调压控制到无级调压控制;从继电器逻辑控制到电子控制到微机控制;从空转保护到黏着控制;单个牵引电动机的功率从 500 多 kW 到 900 kW 等等表明我国的直流牵引系统技术逐步走向成熟。SS 型机车还有过令人值得骄傲的业绩,如第一台列车微机控制系统是在 SS₄ 型机车上研制成功;设计时速为 160 km/h 的准高速四轴电力机车 SS₈ 曾创造了当时中国铁路机车的最高时速 240 km/h 等。但随着国际上牵引技术从直流向交流的转换,我国也逐步停止了直流牵引技术的发展而转向交流牵引技术的研究和发展。

我国的交流牵引技术研究是从 20 世纪 70 年代末开始的,从那时起中国铁路一直在进行中小功率变流机组的地面试验研究和大功率的交—直—交电力机车的研制。1996 年 6 月中国自行研制的第一台采用交流牵引系统的 AC4000 电力机车(原型车)诞生,如图 1.18 所示。AC4000 原型车采用 GTO 牵引逆变器和微机控制系统,机车的最大设计时速为 120 km/h,轴式 C₀-C₀。AC4000 原型车标志着我国电力机车开始从直流牵引系统向交流牵引系统跃进。

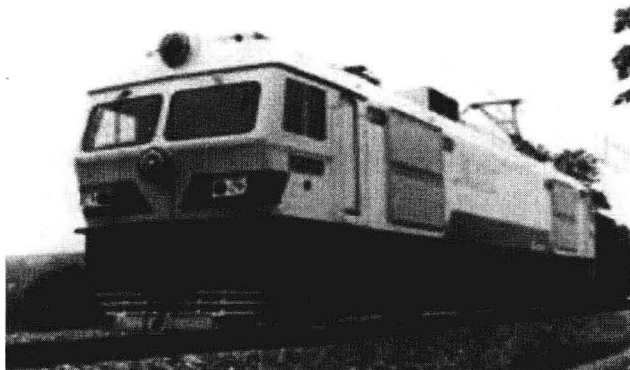


图 1.18 AC4000 交流传动原型车

从 2000 年起我国开始生产采用交流牵引系统的 DJ 型电力机车。DJ1 型交流传动电力机车是采用欧洲标准的 8 轴重载货运电力机车,机车额定功率为 6 400 kW,最高运行速度 120 km/h,是当时我国货运机车中技术含量最高的货运机车。DJ2 型交流传动客运电力机车是我国第一台自主设计、制造的商用交流传动电力机车。机车轴式 B₀-B₀,轴重 21 t;装车功率 4 800 kW,最高运行速度 200 km/h。此外还有与 DJ2 类似的“天梭号”客运电力机车,如图 1.19 和图 1.20 所示。

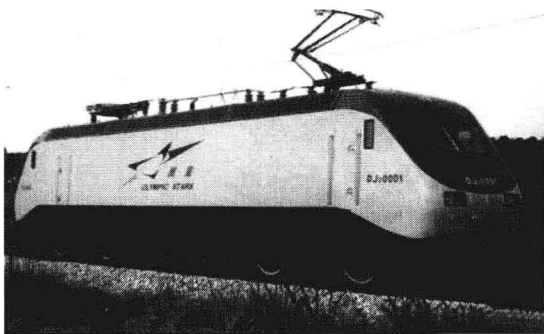


图 1.19 DJ2 型客运电力机车

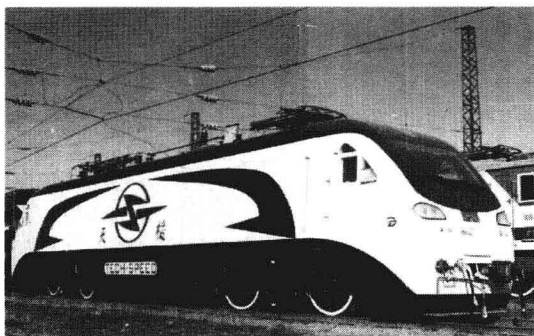
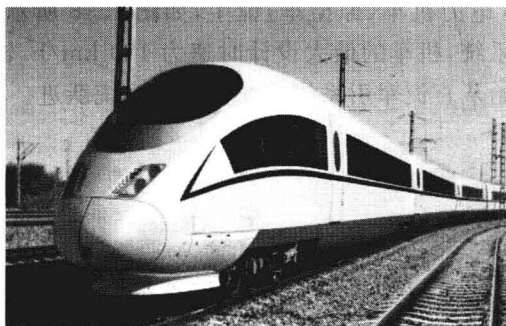


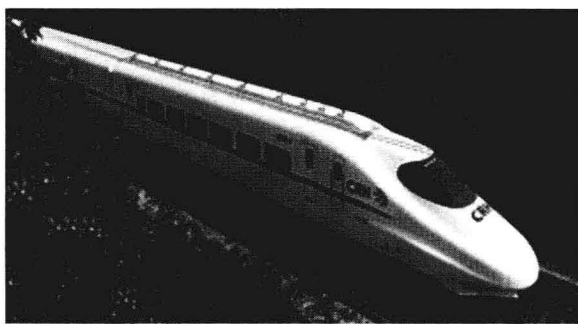
图 1.20 天梭号客运电力机车

2000 年以后,我国也开始了动车组的研制和生产包括动力集中和动力分散的各类动车组,并生产了多种型号的列车,其中比较典型的是设计时速 200 km/h 的“先锋号”动车组以及通过引进消化吸收后生产的“和谐号”高速动车组。

2005 年后陆续生产的“和谐号”动车组是我国第一个高速动车组系列,其牵引系统采用的都是当前国际上的先进技术,达到了很高的水平。“和谐号”动车组共有 5 个型号,分为 2 个速度等级,200~250 km/h 速度等级的是 CRH1、CRH2 和 CRH5;300 km/h 速度等级的是 CRH3 和 CRH2-300。CRH1、CRH2 和 CRH5 动车组主要用于城际间的中短途运输;CRH3 和 CRH2-300 用于时速为 300 km 以上的高速铁路和城际客运专线。CRH2 型和 CRH3 型动车组如图 1.21 所示。



CRH3 型动车组



CRH2 型动车组

图 1.21 “和谐号”动车组

“和谐号”动车组的诞生,以及高速铁路、高速客运专线的修建标志着我国干线铁路已经进入了高速铁路的时代。“和谐号”动车组的生产和运用把我国的电力牵引系统提高到了一个新的高度,特别是为 2007 年的我国铁路第六次大提速发挥了关键的作用。

1.4.2 城市轨道交通列车的发展

我国的城市轨道交通起步于 19 世纪末,1899 年北京有了第一辆有轨电车;到 1906 年在天津、1908 年在上海、1909 年在大连相继开通了有轨电车线路;以后又在长春、哈尔滨等其他城市发展了有轨电车。这些有轨电车线路绝大部分于 20 世纪 50 年代末 60 年代初被拆除,目前保留的只有大连和长春。图 1.22 是北京第一辆有轨电车行驶的情况。

进入 21 世纪后人们对城市有轨电车有了新的认识,有轨电车开始了升级换代。一些城市

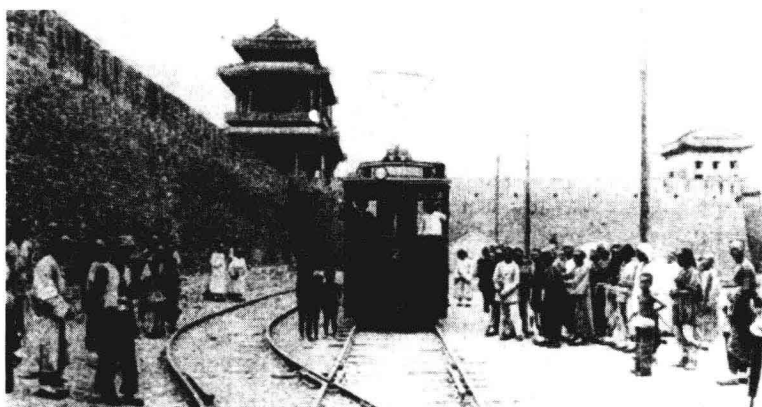


图 1.22 北京的第一辆有轨电车

重新开始规划有轨电车的线路,设计、制造新型的低地板电车。图 1.23 是大连的新型低地板电车。



图 1.23 大连的新型低地板电车

城市有轨电车均采用直流架空线供电,早期的牵引系统的驱动都是直流牵引电动机,调速方式为变阻器调压;目前新型的有轨电车均采用交流牵引电动机,变频调速。新型有轨电车由于低地板的要求,其牵引电动机需要独立驱动,因此牵引系统的控制有很高的要求,技术难度和复杂度大大增加,所以普遍认为新型低地板有轨电车的技术含量要高于一般的地铁车辆牵引技术,可以说是目前牵引控制技术的最新体现。

中国的第一条地铁线路于 1969 年在北京建成,1971 年投入运营,从此开始了我国城市轨道交通中地铁列车的发展。1976 年天津建成地铁 1 号线的第一段,1984 年 1 号线全线运营;1984 年第二条北京地铁(环线地铁)投入运营;1995 年 4 月上海地铁 1 号线投入运营。由此从 20 世纪 90 年代起我国进入了一个大规模的城市轨道交通建设时期,相继进行规划和建设的城市有 40 多个,包括有地铁列车、轻轨列车、跨坐式列车、直线电机列车等多种模式。直线电机传动是利用直线电动机定子绕组产生的磁场和轨道中间安装的感应板之间的电磁效应产生的推力作为列车的牵引力或电制动力,如图 1.24 所示,此牵引力或电制动力与轮轨间的黏着无关,因此列车的爬坡能力远大于采用旋转电机的车辆。广州地铁 4 号线的列车为全动车,爬