

列车微机与网络控制技术及应用

陈特放 曾秋芬 等 编著



科学出版社

列车微机与网络控制 技术及应用

陈特放 曾秋芬 等 编著

感谢国家高技术研究发展计划(863 计划)项目的资助：
(2006AA11Z230)列车安全状态监测及故障预警技术研究
(2009AA11Z217)基于通信的重载组合列车安全监控预警
关键技术及设备

科学出版社

北 京

内 容 简 介

21 世纪以来,随着网络技术的成熟进步,以微机控制为基础的列车通信网络控制技术在我国的迅猛发展。本书介绍了列车通信网络协议中实时协议、多功能车辆总线、绞线式列车总线以及列车网络管理的基础知识,结合作者的科研成果,系统地叙述了电力机车和电动车组的基本结构及其微机控制系统,最后介绍了 CRH 系列动车组的网络控制技术。

本书内容翔实,阐述深入浅出,理论叙述与实际案例分析结合紧密。本书可作为高等院校铁道机车车辆、交通信息控制等专业学生的教学用书,也可作为一般科技工作者和列车网络控制爱好者的读物。

图书在版编目(CIP)数据

列车微机与网络控制技术及应用/陈特放等编著. —北京:科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-032189-3

I. 列… II. 陈… III. 列车-计算机通信网-网络控制方式 IV. U285.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 174448 号

责任编辑:姚庆典 / 责任校对:张凤琴

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕 者

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

陈海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 1 月第一次印刷 印张: 15 1/4

字数: 298 000

定价: 55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

列车微机与网络控制系统是现代列车的神经中枢系统,是列车安全可靠运行的技术保证。列车控制系统从运输调度管理层面可以分为列车运营控制系统和列车(机车)本身装备的车载控制系统,本书讨论的内容主要属于后者。列车控制历来是铁路机车车辆领域里的关键技术,早期由于只有机车上电气控制,所以列车控制实际上就是机车控制。

近年来,我国铁路得到了前所未有的飞速发展,取得了许多令世人瞩目的成绩,我国铁路以占世界铁路6%的营运里程完成了世界铁路25%的工作量,运输效率居世界第一。此外,旅客周转量、货物发送量、货物周转量、运输密度等指标,都居世界第一。目前,全国85%的木材、85%的原油、60%的煤炭、80%的钢铁及冶炼物资都是经铁路运输。与此同时,我国铁路更是取得了许许多多的世界第一:青藏铁路是世界上技术水平最高、运营里程最长、海拔最高的高原铁路;京沪高铁是目前世界上一次建设里程最长、速度和总体技术水平最高的高速铁路;单机功率9600kW的和谐型电力机车是世界上单机和轴功率最大的机车、CRH380A是世界上运营速度最高的高速列车等。

多年来,我们有幸参加了一些具有影响的科研项目,1995年的铁道部科研项目“机车逻辑控制单元研制”是我们的科研团队系统进入铁路科技领域的标志,对我国交直流机车控制技术的提升具有十分重要的作用。十多年来我们为包括铁道部牵引电气设备试验站、大同、大连、宝鸡、洛阳机车厂和许多机务段研制了数十套各种工装和检测测试系统,这既丰富了我们的经历,也加深了我们对铁路、对机车和动车组的理解。2006年以来,我们先后主持了国家自然科学基金项目:基于列车通信网络的高速列车故障诊断系统研究(60674003)和国家高技术研究发展计划(863计划)项目:列车安全状态监测及故障预警技术研究(2006AA11Z230),参加了863计划项目:基于通信的重载组合列车安全监控预警关键技术及设备(2009AA11Z217)。感谢国家自然科学基金和国家高技术研究发展计划(863计划),为我们提供了很好的科学研究平台和经费,使著书计划得以实现。

全书总共8章。各章主要编写人分工如下:

第1章 概述

陈特放、李蔚、成庶

第2章 网络与微机控制基础

成庶、陈特放

第3章 列车通信网络的实时协议

曾秋芬、邓江明

第4章 多功能车辆总线

曾秋芬、邓江明

第5章 绞线式列车总线	曾秋芬、邓江明
第6章 列车网络管理	成庶、李蔚、邓江明
第7章 国产交直流电力机车的微机与网络控制系统	李蔚、成庶、陈特放
第8章 CRH 系列动车组的网络控制系统	成庶、李蔚、陈特放

全书由陈特放统稿并最后定稿。

列车微机控制和通信网络是高速铁路领域中发展最快的技术,限于作者水平,疏漏之处在所难免,请读者指正。

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 铁路概述	1
1.2 列车控制技术的现状与发展	2
1.2.1 国内列车微机控制系统的发展	7
1.2.2 现场总线技术	9
1.3 列车通信网络概述	10
1.3.1 列车通信网络的产生与发展	11
1.3.2 列车通信网络的拓扑结构、组态及特点	13
第 2 章 网络与微机控制基础	16
2.1 数据通信基础	16
2.1.1 基本概念	16
2.1.2 通信系统的组成	18
2.1.3 数据编码技术	20
2.1.4 网络传输介质	23
2.1.5 差错控制技术	25
2.1.6 介质访问控制方式	29
2.2 网络互联参考模型	31
2.2.1 OSI 模型的层次体系结构	32
2.2.2 OSI 模型的各层功能	33
2.3 串行通信接口技术	39
2.3.1 概述	39
2.3.2 EIA-232-D 接口标准	39
2.3.3 EIA-422 与 EIA-485 标准	40
2.4 高级数据链路控制规程	41
2.4.1 HDLC 协议的基本内容	43
2.4.2 HDLC 的帧结构	45
2.4.3 HDLC 操作规程	49
第 3 章 列车通信网络的实时协议	53
3.1 TCN 服务	53

3.1.1	数据传送模式	53
3.1.2	数据类型	54
3.1.3	实时协议分层	54
3.2	变量服务	57
3.2.1	过程变量与寻址	57
3.2.2	数据的介质访问与数据集	60
3.2.3	过程变量的分布与入网	64
3.2.4	应用接口及变量表示	67
3.3	消息服务	72
3.3.1	基本结构与体系	72
3.3.2	消息链路层	76
3.3.3	消息网络层	78
3.3.4	消息的传送层	91
3.3.5	消息的会话层	97
3.3.6	消息的表示层与应用层	99
3.3.7	消息所包含软件结构	100
3.4	TCN 与 OSI 在体系结构上的异同	101
第 4 章	多功能车辆总线	102
4.1	概述	102
4.2	物理层	104
4.2.1	MVB 拓扑	105
4.2.2	收发器接口	105
4.3	MVB 设备	107
4.3.1	总线控制器	107
4.3.2	设备分类	107
4.4	多功能车辆总线的数据格式	111
4.4.1	帧的编码和解码	111
4.4.2	MVB 帧格式	112
4.4.3	MVB 报文	114
4.5	MVB 端口	116
4.6	MVB 介质访问控制方法	117
4.6.1	MVB 的周期性数据传送	119
4.6.2	MVB 的偶发性数据传送	120
4.7	MVB 主权转移	123
4.8	MVB 链路层接口	124

第 5 章 绞线式列车总线	126
5.1 概述	126
5.2 物理层	129
5.2.1 电缆规范	129
5.2.2 节点连接方式	131
5.2.3 介质附件单元	133
5.2.4 WTB 双线处理	135
5.3 绞线式列车总线的数据格式	136
5.3.1 WTB 帧格式	136
5.3.2 WTB 报文	138
5.4 WTB 介质访问控制方法	139
5.5 WTB 初运行	140
5.5.1 节点地址分配	141
5.5.2 节点分级	141
5.5.3 初运行机制	142
5.5.4 冲突解决策略	146
5.5.5 特殊事件的运行恢复	149
5.6 WTB 总线主冗余	152
5.7 WTB 链路层接口	153
第 6 章 列车网络管理	154
6.1 概述	154
6.2 经营者和代理者	156
6.3 管理消息	157
6.3.1 管理消息协议	157
6.3.2 接口	158
6.4 管理对象	159
6.4.1 站对象	160
6.4.2 MVB 链路对象	162
6.4.3 WTB 链路对象	162
6.4.4 变量对象	162
6.4.5 消息对象	163
6.4.6 域对象	163
6.4.7 任务对象	163
6.4.8 时钟对象	164
6.5 网络组态实例	164

第 7 章 国产交直流电力机车的微机与网络控制系统	166
7.1 微机控制系统发展概述	166
7.2 SS ₉ 型电力机车微机控制系统简介	172
7.2.1 硬件特点	172
7.2.2 软件特点	174
7.2.3 主要功能	174
7.2.4 自检、故障诊断、记录和显示	178
7.3 国产 DJ 型交流传动电力机车微机控制系统简介	180
7.3.1 微机控制系统简介	181
7.3.2 DJ 交流传动机车冗余控制的原理	181
7.4 “中华之星”电动车组微机控制与通信系统	186
7.4.1 控制与网络系统构成	186
7.4.2 网络控制平台技术特点	188
7.4.3 列车分级控制	190
第 8 章 CRH 系列动车组的网络控制系统	192
8.1 CRH 背景概述	192
8.1.1 CRH 动车组系列	192
8.1.2 CRH 动车组列车编号	196
8.2 CRH ₁ 型动车组的通信网络	198
8.2.1 列车级网络设备及配置	201
8.2.2 车辆级网络设备及配置	204
8.3 CRH ₂ 动车组的通信网络	212
8.3.1 列车级网络结构	213
8.3.2 列车级网络设备及配置	214
8.3.3 车厢级通信网络	217
8.3.4 设备通信网络	219
8.4 CRH ₃ 动车组的通信网络	219
8.4.1 CRH ₃ 列车控制系统的网络拓扑	220
8.4.2 旅客信息系统	222
8.5 CRH ₅ 动车组的通信网络	225
8.5.1 CRH ₅ 列车控制系统的网络拓扑	225
8.5.2 列车级网络(WTB)设备及配置	227
8.5.3 车辆级网络(MVB)设备及配置	228
参考文献	232
后记	234

第1章 概述

1.1 铁路概述

铁路是我国国民经济的大动脉,在人类生存的衣食住行四个基本要素中,铁路行业属于“行”。在现代概念上,这个“行”既包括人员的流动,也包括货物的运输。2010年末,全国铁路营运里程达到9.1万km,路网长度居世界前列,但我国铁路的路网密度和人均铁路长度等指标,在世界130多个拥有铁路的国家和地区中,居于靠后的位置。中国铁路经过100多年的建设,特别是近30年来的飞速发展,取得了许多值得骄傲的成绩:我国铁路以占世界铁路6%的营运里程完成了世界铁路25%的工作量,运输效率居世界第一。此外,旅客周转量、货物发送量、货物周转量、运输密度等指标,都居世界第一。目前,全国85%的木材、85%的原油、60%的煤炭、80%的钢铁及冶炼物资都是经铁路运输。

我国铁路路网的建设长期落后于国民经济的发展。近年来,我国铁路建设投资大幅度增加,2010年达到了10000亿元的投资规模。2004年,有关部门编制了我国铁路中长期发展规划,2008年,对这一规划进行了较大幅度的调整。根据这一铁路建设规划和目前的建设进度,到2012年,我国铁路营运里程将达到11万km以上,电气化率、复线率均达到50%以上,其中速度200km/h及以上客运专线及城际铁路里程达到1.3万km。届时,中国高速铁路里程将超过世界各国高速铁路里程总和。铁路主要通道实现客货分线运输,发达完善的铁路网初具规模。

目前,我国铁路客运专线在建规模已达1万多公里。到2012年,我国将有1.3万km客运专线及城际铁路投入运营,基本建成以“四纵四横”为骨架的全国快速客运网。所谓“四纵四横”骨架,“四纵”客运专线是指:

(1) 北京—上海:全长约1318km,纵贯京津沪和冀鲁皖苏四省,连接环渤海和长江三角洲两大经济区。

(2) 北京—武汉—广州—深圳:全长2260km,连接华北、华中和华南地区。

(3) 北京—沈阳—哈尔滨(大连):全长约1700km,连接东北和关内地区。秦皇岛—沈阳段已于2003年建成。

(4) 杭州—宁波—福州—深圳:全长约1600km,连接长江三角洲、珠江三角洲和东南沿海地区。

“四横”客运专线是指:

(1) 徐州—郑州—兰州:全长约 1400km,连接西北和华东地区。然后将至乌鲁木齐。

(2) 杭州—南昌—长沙:全长约 880km,连接华中和华东地区。然后将经贵阳至昆明。

(3) 青岛—石家庄—太原:全长约 770km,连接华北和华东地区。

(4) 上海—南京—合肥—武汉—重庆—成都(沪汉蓉高速铁路):全长约 2078km,连接西南、华中和华东地区。

值得特别指出的是,现代高速铁路和重载铁路牵引动力的主力或者其发展方向都是电力牵引,所以本书所说的机车、列车如果没有特别说明,就是指电力机车或电动车组。

介绍这些,想说明两个问题:一是从宏观方面说,铁路很重要,关系到国计民生,千家万户,大规模的铁路建设,是难得的机遇;二是尽管我们取得了许多重大的成就,但是无论是基础研究还是应用研究,在许多领域还有待于深入研究。

1.2 列车控制技术的现状与发展

我国干线铁路电力机车和内燃机车的研制生产始于 20 世纪 50 年代末。至 2009 年 8 月,电力机车约 7000 台,内燃机车约 12000 台。动车组 222 列,开行动车组列车 606 列。我国已经基本掌握动车组 9 大核心技术(动车组集成,车体,高速转向架,牵引控制,牵引变压器,牵引变流器,牵引电机,制动系统,网络控制)。列车通信网络,是 9 大技术中吸收消化难度最大的一项,也是铁道部有关专家和领导认为是最薄弱的一项。

早期的列车控制因为只有机车才有电源和电气控制装置,所以列车控制实际上主要就是机车控制,而电力机车控制的重点和难点主要是传动控制。下面结合机车的传动和控制,对我国电力机车的控制技术的发展作一个简单介绍。

1958 年底,我国试制出第 1 台干线电力机车,即 6Y1 型电力机车。后来随着电力电子技术和控制技术的发展,逐步改进完善,型号也改为了韶山 1 型(SS₁型)。这就是我国第 1 代有级调压、交直流传动电力机车。SS₁ 型机车电传动系统由牵引变压器、调压开关、主整流器、平波电抗器和脉流牵引电机组成,电传动技术的主要特点是:主整流器采用中抽式全波整流电路,采用调压开关切换牵引变压器牵引绕组,改变变压器次级输出电压,实现低压侧调压,供机车启动和调速用。调压开关有 33 个调压级位。由于传动控制是有级调速,所以机车的控制系统主要是由有触点的继电器、接触器完成,只有控制电源等采用了由分立元件为主构成的电子控制电路。随后生产的 SS₂、SS₄ 机车则采用了比较复杂的以分立元件

和小规模集成电路构成的模拟电子控制系统,控制系统对牵引和制动都采用电流(转矩)闭环控制,同时对牵引工况进行限压控制,并且设计了比较完善的电子保护系统。限于当时国内实际的技术水平和电子器件可靠性难以保证,控制系统采用了 A、B 两组进行冗余,当一组出现故障时,手动切换至另一组,从而维持机车运行。控制系统电路主要由电阻、电容、二极管、三极管、第一代运算放大器(FC3C、F007 等)和数字集成电路构成,电路板密度低、可靠性较差,导致控制功能简单,无特性控制、重联、功率因数补偿等控制功能,并且控制精度低。限于当时的技术水平,无法进行系统的电磁兼容试验考核,系统抗干扰性能较低。

20 世纪 80 年代中期,我国从欧洲引进了 8K 型及 6K 型电力机车及其相应的控制技术。以引进消化 8K 型电力机车控制技术为标志,采用标准的电子机箱和插件结构,大量增加了电子控制电路和中大规模集成电路,开始对不同车型的电力机车电子控制装置初步实现标准化、模块化,从而实现了我国电力机车控制技术的一次更新换代。这一阶段控制技术的特点是:电路组成单元主要以运算放大器、数字逻辑电路等新一代数、模集成电路为主构成。部分电路如功率因数补偿、空电联合制动控制电路采用单片机技术;采用了符合 IEC 有关标准的电路板、机箱结构,具有良好的防尘、防潮、防震和电磁屏蔽性能;在系统设计上,较完整地考虑了电位隔离、滤波、屏蔽等抗干扰措施。如对数字 I/O 信号采用光耦合继电器进行电位隔离,对模拟 I/O 信号采用电磁变换原理进行电位隔离等;控制系统精度得到较大提升;各型控制装置电路板标准化、通用化程度高,机车控制采用准恒速特性控制。

20 世纪 90 年代初,在经过长期的研制试验及引进消化吸收的基础上,以 SS₄ 型 38 号微机控制电力机车为标志,采用单板和单片机系统,大量增加了电子控制电路和中大规模集成电路,这一阶段国内的代表车型包括 SS₈、SS_{4B}、DDJ 动车组等。从结构上来看,微机控制装置沿用了电子模拟控制系统一样的柜、插件箱、板三层结构,但增加了司机室诊断显示及人机对话功能。在系统上采用三级分层结构:人机对话级(系统级)、特性控制级和变流器控制级。人机对话级由显示屏、键盘及显示控制装置组成。它除具有替代原机车模拟仪表显示机车工况及参数的功能外,还具有日历、时钟显示,机车累计运行参数统计,机车轮径设置,故障记录查询,自检项选择和自检结果及参数显示等功能。早期为等离子体显示屏,主 CPU 为 8088,采用汇编语言编程以提高汉字图形方式下的屏幕响应速度;后来采用 TFT 彩色液晶屏,并将显示控制装置与显示屏融为一体,主机为 486,PC104 总线,并采用 C 语言编程。特性控制级采用功能块图语言编程以便提高编程效率、便于移植,它担负着机车级机车特性控制及各种保护和诊断功能。变流器控制级则采用汇编语言编程以满足脉冲触发部分实时快速的要求。级间通信采用

RS485 标准, CPU 为 8031。其特点主要有:硬件标准化、通用化程度高,不同的特性、参数和控制功能只需在软件上区别,硬件可做到通用,因而系统的灵活性高、装置的可靠性提高、微机系统智能化程度高,具备故障诊断及显示功能,能实时监测系统的主要部件,便于确认系统状态,查找分析故障原因。同时也便于功能的扩展和升级,如与其他部件或系统(辅助变流器、PLC、制动单元、速度分级控制系统)通过串行通信方式建立联系、交换信息。

21 世纪以来,随着网络技术的迅速发展,以微机控制为基础的列车通信网络控制技术得到了迅猛发展。20 世纪 70 年代末至 80 年代初,车载微机的雏形分别在西门子公司和 BBC 公司出现。最早在国际上有影响的微机控制系统就是所谓的 SIBAS(西门子牵引控制系统),开始仅用于机车传动装置的控制。随着技术的发展和控制、服务对象的增多,信息的传输、转换变得越来越多,对铁路微机控制系统提出了更高的要求。人们把铁路微机系统依次划分为 6 个层次:公司管理、铁路运营、列车控制、机车车辆控制、传动控制和过程驱动。列车通信网络在初期的串行通信总线的基础上应运而生,并从原来不同公司的企业标准推向国际标准,逐步形成了列车通信与控制系统的标准化、模块化的硬件系列和全方位的开发、调试、维护、管理软件工具。相继研发的车载微机系统主要有西门子的 SIBAS16、SIBAS32、Adtranz 公司的 MICAS-S、MICAS-S2、MITRAC 以及 ALSTOM 公司的 AGATE 系统。其中 SIBAS16、SIBAS32、MICAS-S 是基于早期自行定义的协议来建立列车通信网络的。列车通信网络(TCN)由两层组成,即绞线式列车总线(WTB)和多功能车辆总线(MVB)。其中,WTB 负责列车车辆之间的通信,MVB 则主要负责车辆内部各个设备之间的通信。国内的代表车型如先锋号动车组、中华之星动车组、和谐号动车组、DJ 型、DJ1 型、和谐号电力机车等。

2003 年开始,中国铁路开始从列车运行的总体上考虑列车控制系统,2004 年,铁道部正式审查通过了《CTCS 技术规范总则》和《CTCS2 级技术条件》,开始实施所谓中国列车运行控制系统(Chinese Train Control System, CTCS),它是为了保证列车安全运行,并以分级形式满足不同线路运输需求的技术规范。基本功能是在不干扰机车乘务员正常驾驶的前提下有效地保证列车运行安全。CTCS 体系结构按铁路运输管理层、网络传输层、地面设备层和车载设备层配置,如图 1-1 所示。

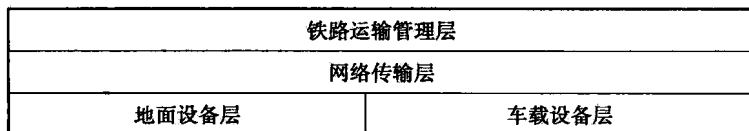


图 1-1 CTCS 体系结构示意图

CTCS 各层结构的主要功能如下:

(1) 铁路运输管理层是铁路行车的指挥中心,通过通信网络实现对列车运行的控制和管理。

(2) 网络传输层是通过有线和无线的方式,实现数据信息的传输。

(3) 地面设备层主要包括列控中心、轨道电路和点式设备、接口单元、无线通信模块等。列控中心是地面设备的核心,它根据行车命令、列车进路、列车运行状况和设备状态,通过安全逻辑运算,产生控车命令,实现对运行列车的控制。

(4) 车载设备层是对列车进行操纵和控制的主体,具有多种控制模式,并能够适应轨道电路、点式传输和无线传输方式,车载设备主要包括车载安全计算机、连续信息接收模块、点式信息接收模块、无线通信模块、测速模块、人机界面和记录单元等。

CTCS 为了保证列车安全运行,根据系统配置,按功能划分为 5 级:

(1) CTCS0 级为既有线的现状,由现有的通用机车信号和运行监控记录装置构成。

(2) CTCS1 级由主体机车信号和加强型运行监控记录装置构成。面向 160km/h 以下区段,在既有设备基础上强化改造。达到机车信号主体化要求,增加点式设备,实现列车运行安全监控功能。

(3) CTCS2 级是基于轨道传输信息的列车运行控制系统,面向提速干线和高速新线,采用车-地一体化设计。它适合各种限速区段,地面可不设信号机,机车乘务员凭车载信号行车。设置列控中心,根据列车占用情况及进路状态计算行车许可及静态列车速度曲线并传送给列车。轨道电路则完成列车占用检测及列车完整性检测,连续向列车传送信息。车载安全计算机对列车运行控制信息进行综合处理,生成控制速度与目标距离模式曲线,控制列车按命令运行。CTCS-2 列控系统是基于轨道电路和点式应答器传输列车运行许可信息并采用目标-距离模式监控列车安全运行的列车运行控制系统。客运专线的 CTCS-2 列控系统由地面和车载设备构成。地面设备由列控中心、ZPW-2000(UM)系列轨道电路、轨旁电子单元 LEU、应答器设备等组成。车载设备由车载安全计算机(VC)、轨道电路信息接收单元(TCR)、应答器信息接收模块(BTM)、记录单元(DRU)、人机界面(DMI)等组成。轨道电路实现列车占用检查,并连续向车载设备传送空闲闭塞分区数量等信息。应答器向车载设备传输定位信息、线路参数、临时限速等信息。列控中心具有轨道电路编码、应答器报文储存和调用、区间信号机点灯控制、站间安全信息(区间轨道电路状态、中继站临时限速信息、区间闭塞和方向条件等信息)传输等功能,根据轨道电路、进路状态及临时限速等信息产生行车许可,通过轨道电路及有源应答器将行车许可传给列控车载设备。车载设备根据地面设备

提供的信号动态信息、线路参数、临时限速等信息和动车组参数,按照目标-距离模式生成控制速度,监控列车安全运行。我国新建 200~250km/h 客运专线采用 CTCS-2 级列控系统。

(4) CTCS3 级是基于无线传输信息并采用轨道电路等方式检查列车占用的列车运行控制系统。它主要建立地面无线闭塞中心(Radio Block Center, RBC),无线通信地面设备和无线车载设备。CTCS-3 级列控系统包含了 CTCS-2 级列控系统的全部设备,并在 CTCS-2 的基础上增加了铁路专用全球移动通信系统(GSM-R)系统设备。列车在由无线闭塞中心控制的线路上运行,由地面设备提供列车定位功能和列车完整性检查。GSM-R 系统设备主要包括无线闭塞中心和车载 GSM-R 系统等。RBC 使用无线通信手段的地面列车间隔控制系统。它根据列车占用情况及进路状态向所管辖列车发出行车许可和列车控制信息,所使用的安全数据通道不能用于话音通信。GSM-R 地面设备作为系统信息传输平台完成地-车间大容量的信息交换;GSM-R 车载设备作为系统信息传输平台完成车-地间大容量的信息交换。我国现阶段 300~350km/h 客运专线的列控系统采用 CTCS-3 级功能,兼容 CTCS-2 级功能。

(5) CTCS4 级是基于无线传输信息的列车运行控制系统。地面不设通过信号机,机车乘务员凭车载信号行车。基于无线通信传输平台,可以实现虚拟闭塞或移动闭塞。CTCS-4 级面向高速新线或特殊线路。

铁道部科技部门已经分别于 2004 年和 2008 年完成了 CTCS2 和 CTCS3 级技术条件的编制。

随着车载智能设备数量的增多,通信数据量的加大,目前 1Mbit 左右的通信速率在列车通信上已然显得捉襟见肘。就像手机从 GSM 时代逐步进入 3G 时代、4G 时代一样,随着网络技术和无线通信技术的发展,列车通信网络技术也将向着更高速率、更先进技术的方向发展。目前已经开始研究下一代的列车通信网络,带宽高达 10Mbit/s,除了可以传输机车车辆的牵引控制等信息外,还可以传输声音、图像等多媒体信息,对车辆实行实时的视频监控。目前 3G 无线网络已经在国内正式运营,高速的数据传输速率是 3G 网络的最大特点,3G 无线通信上、下行理论传输速率最高分别可达 5.76Mbit/s、14.4Mbit/s,代表国内 3G 网络的三种主流技术分别由中国移动的 TD-SCDMA、中国联通的 WCDMA、中国电信的 CDMA2000 三分天下。2010 年的上海世博会期间,中国移动采用了被国际电信联合会确定为全球 4G 标准之一的由中国移动通信行业自主创立的 TD-LTE 技术标准,实行无线通信上、下行速率分别高达 50Mbit/s、100Mbit/s。4G 无线网络比现有 3G 网络高 20 倍的通信速率,即使在时速高达 350km/h 的高速铁路上也能实现正常数据传输。

1.2.1 国内列车微机控制系统的发展

我国于1987年开始开发电力机车微机控制系统,1991年底样机装于SS4-38号机车上,在宝鸡机务段运行考核,主要在宝鸡—凤州区段作补机运行。至1993年底累计运行12万多公里后,微机控制系统(MICAS-S)通过了部级技术评审,并决定小批量推广应用。

该微机控制系统是以8K车中的两台微机控制车的技术方案为基础,同时汲取了同期的6K车的技术优点,结合我国的具体情况自主研制的,因而具有较高的起点。控制系统的硬件具有较高的灵活性和通用性,软件采用图形语言编程,有良好的开发和调试环境支持。针对不同的车型,通过对硬件的组合和开发新的软件能够满足各种交-直机车的控制要求。如1994年研制的SS₈型4轴准高速客运电力机车、1995年研制的SS_{8B}型8轴货运电力机车、1996年研制的出口伊朗的TM1型动力车以及SS₉、昆明动车组等车型都是基于这一系统。

1996年研制出口伊朗的动车组是我国首次使用列车总线的动车组,硬件为瑞士ABB公司的MICAS-S2系统,全部应用软件自主开发。MICAS-S2系统中的车辆总线是TCN标准中的多功能车辆总线(MVB)的原型。从现场运行的情况来看,MICAS-S2的车辆总线、列车总线具有相当高的可靠性。1997年,电力机车微机控制装置获铁道部科技进步二等奖。

我国的微机控制系统的发展主要经历了三个阶段:第一阶段是功能控制阶段,即微机控制系统主要完成特定的功能;第二阶段是系统化阶段,即微机控制系统的开发是基于系统的综合考虑的结果;第三阶段是基于分布式网络阶段,将计算机网络的概念引入列车控制系统,在列车上建立分布式的列车控制网络。由于前两个阶段采用的是电子柜式集中控制,决定了其功能有限,只能部分满足要求,必然被分布式网络控制系统取代。

在第一阶段中,微机控制主要基于单片机技术,系统多以8031为微处理器。这期间,内燃机车和电力机车均有不同程度的发展。内燃机车主要立足于自行开发,不同的生产厂家发展出了不同的控制系统,分别应用在DF4、DF5、DF7等机车上。这些系统大多主要完成机车的恒功率控制功能,在设计功能上有较强的针对性,由于受到单片机运行速度、扩展能力以及开发方面的限制,已经难以实现大量功能的扩展。电力机车则立足于引进消化吸收和自主开发相结合的原则,对引进的8K机车的控制技术进行消化吸收,开发出应用在SS₅、SS₆、SS_{3B}、SS₄改进型、SS_{6B}、SS₇等不同车型的电力机车电子控制装置,其主要电路是通过模拟、数字电路实现控制的数学运算和逻辑运算的,只有部分电路如功率因数补偿、空电联合制动控制电路采用单板机技术。

在第二阶段中,系统采用了功能更强的处理器,同时开始尝试设备车辆之

间的互联。内燃机车以 DF6、DF8B、DF11、NJ1 为代表,DF6 机车的控制系统为美国 GE 公司开发研制的,系统以 80186 芯片为控制器,采用 FE 总线,能够完成恒功率控制、大量数据采集、故障诊断、系统管理等功能,能够完成较大的任务量。电力机车则是基于对当时 ABB 公司的 MICAS-S 的消化吸收,并根据我国电力机车的实际情况予以装车的,系统分为人机界面级、机车控制级和变流器控制级。系统能够完成机车控制的大部分任务,相对于机车控制而言是比较完善的解决方案。

第三阶段是基于分布式网络的列车控制系统,系统多是从国外引进的,并进行产品的二次开发,取得了一些成果。株洲电力机车厂生产的出口伊朗的 TM1 电动车组,购买了采用了 Adtranz 公司的 MICAS-S2 系统。1991 年,株洲电力机车研究所从 ABB 公司购买了牵引控制系统开发工具,在吸收消化的基础上,相继为“先锋”、“中原之星”开发出列车控制系统。

在我国高速列车发展过程中,还有一列曾被广泛关注的“中华之星”动车组。20 世纪 90 年代初,我国铁路经过多次高速列车综合试验,已经取得了开发高速列车的大量实践试验数据。2000 年,经过专家的多次论证,铁道部提出 270km/h 高速列车产业化项目报告,国家发展和改革委员会(原国家计委)正式批准立项,并命名为“中华之星”。2001 年 4 月,铁道部下达“270km/h 高速列车设计任务书”,确定了列车的总参数,中国工程院院士、南车集团株洲电力机车厂高速研究所所长刘友梅被任命为该项目的总设计师。“中华之星”项目集中了当时国内铁路机车车辆制造和研发的最核心力量进行联合攻关,集合了南车、北车集团旗下的四大铁路机车车辆企业(株洲电力机车厂、大同机车厂、长春客车厂、四方机车车辆厂)、四大科研院所(中国铁道科学研究院、株洲电力机车研究所、四方车辆研究所、戚墅堰机车车辆工艺研究所)和两个高等院校(西南交通大学、中南大学),涉及设计开发人员多达数百人。株洲电力机车厂和大同机车厂分别负责研制一台动力车,长春客车厂负责研制四节拖车,四方机车车辆厂负责研制五节拖车。2002 年 9 月,“中华之星”动车组集结在位于北京东郊的中国铁道科学研究院环形铁道试验基地,开始进行列车编组调试。试验期间,动力车头的各项功能测试完成,包括牵引、制动、电空联合制动等基本功能得到了验证,随后又完成了机车调试。2002 年 11 月 27 日,“中华之星”在秦沈客运专线的冲刺试验达到 321.5km/h,创造了当年为止我国铁路试验速度的最高纪录。从 2003 年 1 月起,“中华之星”开始在秦沈客运专线上进行线路运行考核,到 2004 年 12 月,“中华之星”在秦沈客运专线累计运行 53.6 万公里,创造了当时中国铁路新型机车车辆试验运行考核里程最长、运行考核速度最高的纪录。2005 年初,“中华之星”在经历了 53.6 万公里的线路运行考核,两节动力车和九节拖车分别返回四大主机厂进行“解体拆检”,拆检后没有发现任何重大问题,确认整车和零部件状态良好。2005 年 8 月