

创新的中国高速铁路技术(下)

何华武

(中华人民共和国铁道部,北京 100844)

[摘要] 高速铁路是超大、复杂的系统工程。文章论述了中国铁路路情急需发展高速铁路;通过博采众长,研究试验,构建创新的中国高速铁路技术体系;介绍了近期高速铁路建设的工程实践。

[关键词] 中国高速铁路;创新;技术体系;工程实践

[中图分类号] U238 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)10-0004-15

2.2.6 建筑工程 客站是铁路与城市的结合点,既要突出铁路功能,满足旅客日益提高的方便、快捷、舒适的乘车要求;又要满足城市发展要求和综合交通协调发展要求,成为城市和区域的综合交通枢纽和现代化客运中心。

铁路客站设计要坚持以人为本,综合体现“功能性、系统性、先进性、文化性、经济性”原则,做到交通功能与地域文化相结合,时代要求与国情条件相结合。

较大客运站采用站台无柱雨棚,增加站台有效面积,加强通过性,改善候车环境。

2.2.7 环境保护工程 包括污水和废气治理、噪声和振动污染治理、电磁干扰防护、固体废物处置、生态环境保护 and 水土保持等。

高速铁路与常速铁路相比较,环境保护的重点在噪声和振动污染治理方面,根据国家主管部门批复的环境影响评价报告开展工作。

环境噪声因铁路声源影响超过国家标准《铁路边界噪声限值及其测量方法》(GB12525)时,设声屏障或采取综合处理措施。

1) 声屏障。声屏障高度不大于轨面以上 2.05 m,必须超时,应在高出部分采用透明材料;长度为敏感点长度加两端附加长度。

声屏障结构强度按最不利荷载组合检算;材料的平均吸声系数不小于 0.6,隔声材料隔声量不小于 25 dB。

2) 综合处理措施。高速铁路降噪的主要治理措施及效果见表 17。

表 17 高速铁路降噪的主要治理措施及效果

Table 17 Main measures and effects of noise reduction on high speed railways (dB)

噪声源	降噪措施	降噪效果
轮轨噪声	(1)线路两侧设置声屏障;(2)轨面打磨减少短波不平顺;车轮踏面防擦伤,保证圆顺,降低轮轨滚动噪声;(3)采用跨区间无缝线路,严格控制焊接接头平顺度;(4)轨道面吸音处理等	4~10
集电系统噪声	(1)减少弓头振动,加强接触线与滑板间的润滑;(2)减少离线,采用低噪声绝缘子;(3)加装受电弓罩及形状的最佳化等	4~5
空气动力噪声	(1)列车头部的流线型化;(2)车体外表的平滑化等	2~15
结构物噪声	(1)有砟轨道铺设橡胶道砟垫(见图 16),无砟轨道设橡胶减振垫层(见图 17),降低扣件系统的胶垫刚度,以提高轨道整体弹性,降低下部结构物的振动;(2)桥梁采用混凝土结构,选择合理的结构形式	5~15

[收稿日期] 2007-03-12;修回日期 2007-06-16

[作者简介] 何华武(1955-),男,四川资阳市人,铁道部教授级高工,铁道部客运专线总设计师

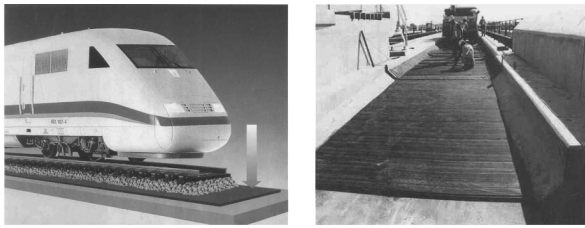


图 16 高速有砟线路上道砟垫的应用
Fig. 16 The application of ballast mat on high-speed ballast tracks

3) 减振措施。采用车辆轻量化、弹簧系统的合理化等手段减小车对轨道的动力作用,减小激振等级;选用重型钢轨、刚度大的箱梁或增大参振体质量等措施减小因激振力引起的振动;采取轨道各种部

件之间设置弹性支承材料、地基上设置“减震沟”等,减小振动的传递。

2.3 牵引供电

高速铁路牵引供电的特点:
满足高速运行的弓网关系;
满足可靠稳定的供电要求;
满足免维护、少检修、抵御自然环境侵害的要求;
动车组自动过分相;
供电能力适应高速度、高密度;
具有综合一体化远程监控能力。

牵引供电、电力、SCADA 系统结构见图 18。

2.3.1 供电 牵引变电所优先采用两回独立可靠的 220 kV 电源,并互为热备用。



图 17 无砟轨道线路的降噪措施
Fig. 17 Noise reduction measures along ballastless tracks

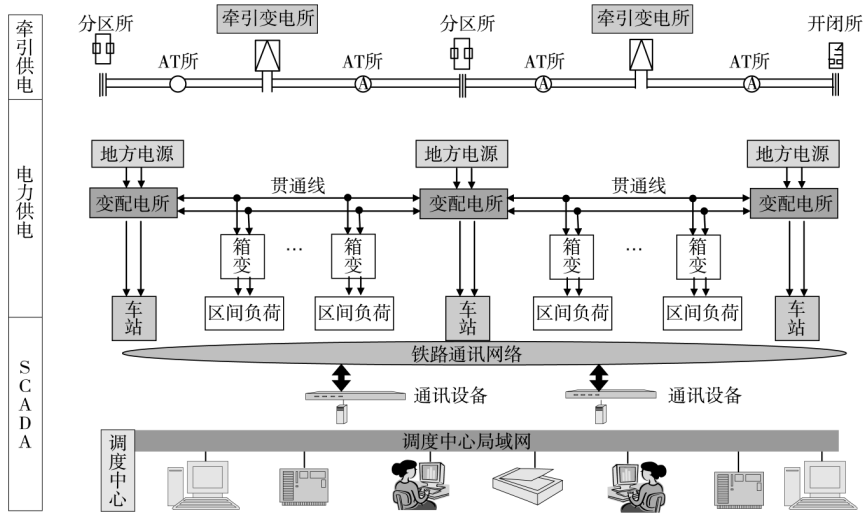


图 18 牵引供电、电力、SCADA 系统结构示意图
Fig. 18 Tractive power supply, power and SCADA system

按照国外相关标准,平均有效电压应采用 22.5 kV。我国接触网的标称电压 25 kV,短时(5 min)最高电压 29 kV,设计最低电压 20 kV。

高速正线采用 2×25 kV(AT) 供电方式。

牵引变电所分布要满足列车追踪运行间隔时间

要求。牵引变压器采用固定备用方式,一台运行,另一台备用。为减少运营成本,变压器安装容量可按交付第五年运量确定,按远期运量预留条件,其过负荷能力应满足高峰小时牵引负荷的需要。

2.3.2 变电 牵引变压器优先采用单相接线形式。

高压侧开关采用 SF6 断路器或 GIS。

2 × 25 kV 侧采用户内 GIS、AIS 或户外分散布置断路器。

变电所实行无人值班。

2.3.3 接触网 接触网采用全补偿简单链型悬挂或全补偿弹性链型悬挂, H 形钢柱, 绝缘爬距 1 400 mm。

接触导线: 150 mm² 铜合金材质, 张力不小于 25 kN。

承力索: 120 mm² 铜合金, 张力不小于 20 kN。

最高运行速度: 低于 70% 的接触线波动传播速度。

接触线最低悬挂高度不小于 5 300 mm, 困难条件不小于 5 150 mm。

简链、弹链悬挂时, 正线区间标准跨距分别取 50 ~ 55 m, 55 ~ 60 m。

2.3.4 弓网受流性能要求 参照《弓网受流动态测量准则及要求》(EN50317:2002)、《弓网受流技术标准》(EN50367:2006)、《欧洲高速铁路弓网受流性能指标》(UIC794:96) 标准, 弓网间平均接触力 F_m 不大于 $0.00097v^2 + 70(N)$ (见图 19), 标准偏差 $\delta \leq 0.3F_m(N)$; 最大值 $F_{max} = F_m + 3\delta(N)$ 。

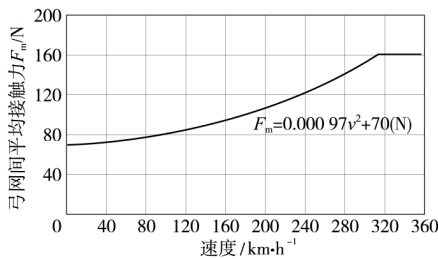


图 19 平均接触力对应速度目标值

Fig. 19 Objective speed responding to average contact force

仿真计算离线率应小于 0.1%, 多个受电弓升弓运行时, 须对每弓的受流情况进行评价。

2.3.5 自动过分相 电分相采用带中性区的双断

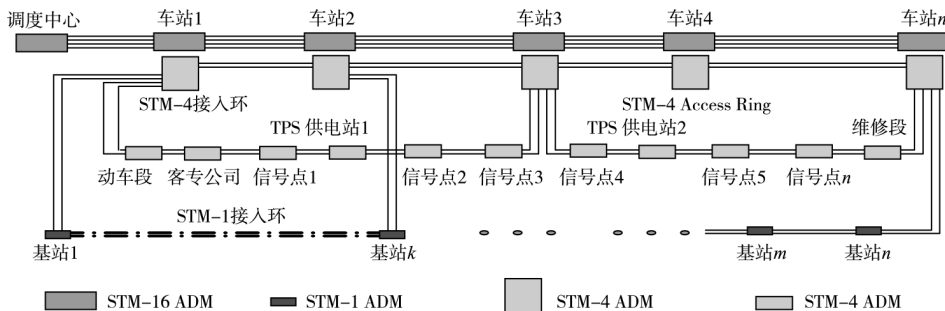


图 21 通信传输和接入设备

Fig. 21 Telecommunication transmission and access equipment

口锚段关节方式, 中性区长度大于取流受电弓的间距, 借鉴国际经验和我国实践, 中性区长度一般不小于最大取流受电弓间距加 120 m。

2.3.6 SCADA 系统 SCADA 系统功能以满足牵引供电、电力等机电子系统需要为原则, 包括: 调度管辖范围动态配置, 对牵引供电、电力等机电子系统运行及设备状态的实时监控, 事故报警、事故追忆、自动控制、调度事务自动化管理。

SCADA 系统由调度端、各被控站、复示终端系统以及联系被控站的传输通道组成。

SCADA 系统作为运营调度系统的一个子系统。

2.4 通信信号

2.4.1 通信系统 高速铁路通信系统以传输及接入、电话交换、数据网、GSM - R 移动通信等设备为基础, 建立调度、会议电视、救援指挥、动力环境监控和同步时钟分配等通信系统, 将有线和无线通信有机结合, 实现话音、数据、图像、列控等功能, 见图 20。

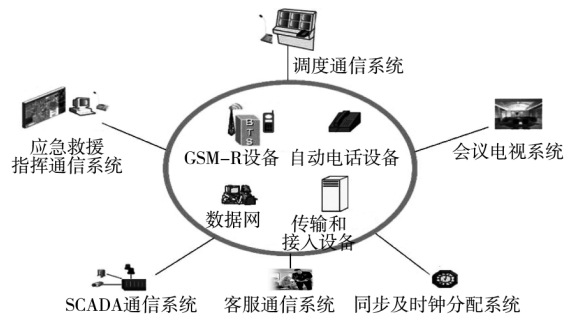


图 20 通信系统示意图

Fig. 20 Demonstration map of telecommunication system

1) 传输和接入设备。传输层在正线车站设置 SDH2.5 Gb/s 设备, MSP1 + 1 保护方式; 接入层在车站、动车段(所)、维修段等设置 622 Mb/s MSTP 设备, 通过车站迂回, 组成多个保护环, 为各类业务提供传输通道, 见图 21。

2) 自动电话设备。利用铁通专网本地交换机,通过 OLT + ONU,向各车站分布自动电话,见图 22。

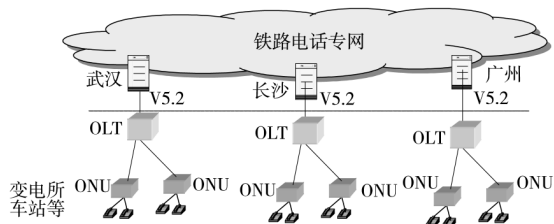


图 22 自动电话设备
Fig. 22 Auto-telephone equipment

3) 数据网。采用 TCP/IP 协议,承载运营调度系统、旅客服务系统、电视会议系统、视频监控、信息

系统等非安全数据传送业务,是各专业共用的数据通信和计算机通信平台,见图 23。数据网本地连接采用光纤,远程连接采用 MSTP 通道。

4) GSM - R 移动通信设备。单层交织覆盖,核心节点按全路网络规划配置,时速 300 ~ 350 km 线路无线网支持 CTCS - 3 列控信息传送,某个基站故障时,相邻两个基站场强覆盖可以满足通信需要。提供调度通信、区间移动电话、通用数据传输、列控信息传输等功能,见图 24。

同址双基站冗余覆盖,核心节点按全路网络规划配置,某个基站故障时,由备用层基站进行覆盖并提供服务。提供调度通信、区间移动电话、通用数据传输、列控信息传输等功能,见图 25。

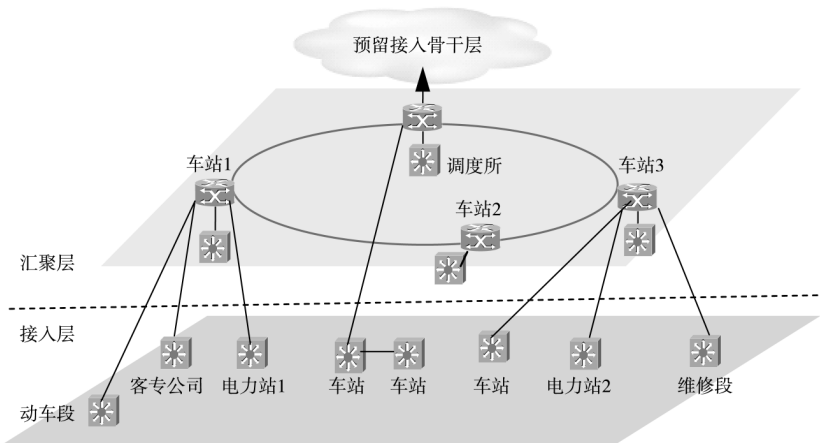


图 23 数据网
Fig. 23 Data network

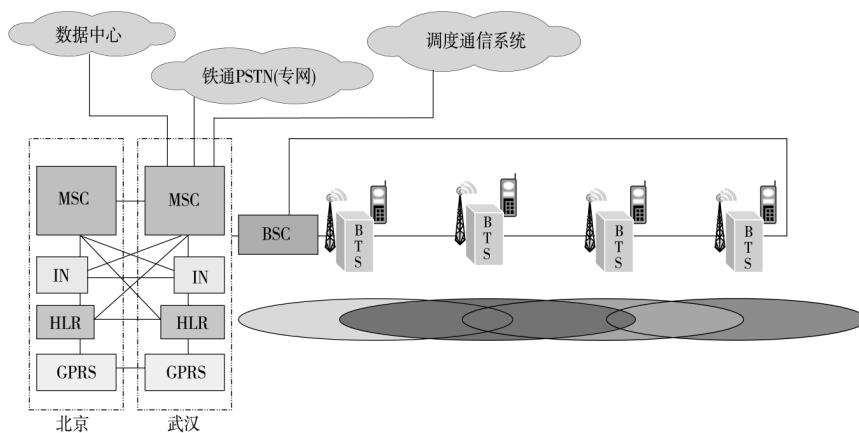


图 24 单层交织覆盖示意图
Fig. 24 Demonstration of one-layer intertwined covering

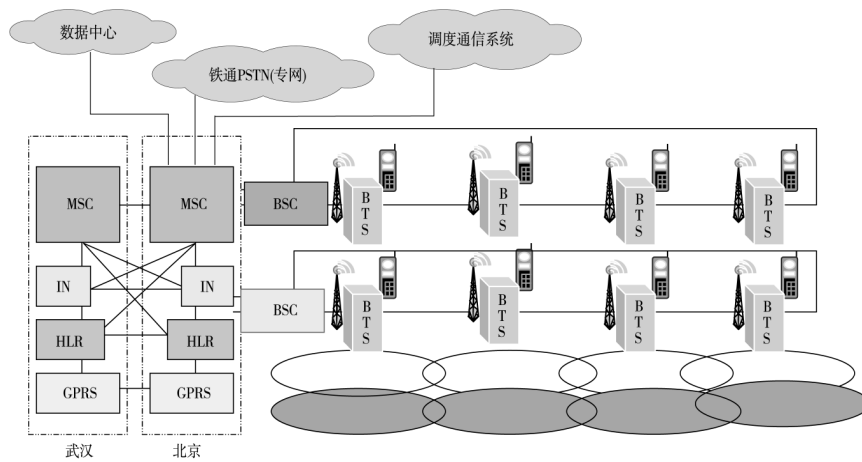


图 25 同址双基站冗余覆盖示意图

Fig. 25 Demonstration of same address double bases station abundance covering

5) 其他。设通信网管系统,全面管理高速铁路通信网络,在调度中心(所)设通信网管复示终端。

干线通信线路采用光缆,光缆纤芯数量除满足相关业务需求外预留远期发展需要。干线光缆敷设在线路两侧的槽内。

设置综合视频监控系统,对车站重点部位及沿线重点设施实时监控。

2.4.2 信号系统 高速铁路信号系统是保障列车运行安全,提高运输正点、效率的关键技术设备。主要由调度集中、列车运行控制、车站联锁、集中检测等子系统组成。

1) 调度集中(CTC)。调度集中是一种列车运行方式。列车在规定的区段进入车站股道和通过闭塞分区按信号显示运行。CTC 系统由调度中心(所)设备、车站设备和相关网络设备组成。CTC 系统采用双硬件、双网络的冗余结构。级间网络采用不同物理路径的单独光纤,困难地段采用不同物理路径专用链路的数据网,构成两个独立的环状自愈专用通道。

CTC 系统主要功能包括列车进路及调车进路的控制、列车运行情况集中监控、车次号追踪、列车运行计划调整、临时限速设置等。

调度所之间、调度所与部调度中心之间实现信息交换。

2) 列车运行控制。高速铁路行车以速度信号代替传统的色灯信号,以车载信号作为行车凭证,为防止司机失误影响行车安全,地面传送到车载设备的信号直接转变为对列车制动系统的控制,称为列车运行控制系统。主要有地面设备和车载设备组成。主要功能有超速防护、临时限速,防止列车冒

进、错误出发、错误退行。

(1) 国外典型的高速铁路列控系统。德国 LZB 系统:采用轨道环线电缆传送列控信息,其中地面对列车的呼叫码为 83.5 bit 编码序列,传输速率为 1 200 bit/s;列车对地面的呼应答码为 41 bit 编码序列,传输速率为 600 bit/s。

日本 DS-ATC 系统:采用有绝缘的数字轨道电路传送列控信息,使用 500~3 000 Hz 的频率,以 60~300 bit/s 的速度,反复传输 40~60 bit 的数据。

法国 UM2000+TVM430 系统:采用无绝缘数字轨道电路传送列控信息(分级控制),传输数据量 27 bit/帧,有效信息 21 bit/帧,校验位 6 bit/帧,帧周期大于 1.5 s。

德国 LZB、日本 DS-ATC 和法国 UM2000+TVM430 三种高速列控系统均采用大量专有技术,相互间不兼容,技术平台不开放。

欧洲 ETCS 系统:为实现欧洲铁路互联互通,欧盟组织确定了适用于高速铁路列控的标准体系,技术平台开放,欧洲正在建设和规划的高速铁路均采用 ETCS 列控系统;基于 GSM-R 无线传输方式的 ETCS2 系统,技术先进,罗马至那不勒斯、马德里至莱里达等线已投入商业运营,是未来高速铁路列车运行控制系统的发展方向。

(2) 我国高速铁路列控系统。列控系统技术平台的确立必须做到有利于路网的统一性,有利于调度集中统一管理。

我国 300~350 km/h 铁路确定 CTCS-3 列控系统作为全路统一技术平台,并兼容 CTCS-2 列控系统实现动车组上下线运行。

CTCS-3 系统采用 GSM-R 无线通信传输列

控信息,主要由车载 ATP、无线闭塞中心 RBC、微机联锁、调度集中 CTC、应答器、ZPW-2000 轨道电路构成,通过系统集成创新,我们将建立符合中国国情路情的、世界一流水平的高速铁路 CTCS-3 列控技术体系。

CTCS-2 列控系统主要用于 200~250 km/h 客货共线铁路(含既有线提速 200 km/h 线路),主要设备包括:车载 ATP、列控中心、微机联锁、调度集中 CTC、应答器、ZPW-2000 轨道电路,在第六次大提速 200~250 km/h 线路上成功应用。CTCS-2 列控系统采用轨道电路加点式应答器作为信息传输手段,实现列车运行的安全控制,GSM-R 用于无线通信。

通过在时速 300 km 和 200 km 跨线列车上装备 CTCS-2 和 CTCS-3 车载系统,实现高速列车的跨线运行。

(3)CTCS-2。CTCS-2 列控系统通过 ZPW-2000 轨道电路发送行车许可,列控车载设备根据轨道电路信息码,并结合应答器信息控制列车安全行车。CTCS-2 系统原理见图 26,其系统设备结构见图 27。

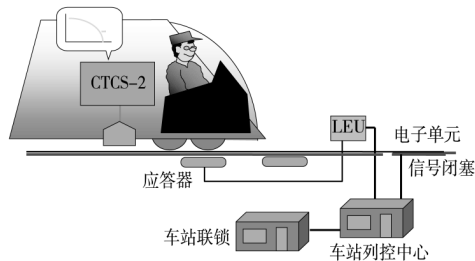


图 26 CTCS-2 系统原理
Fig. 26 CTCS-2 system principle

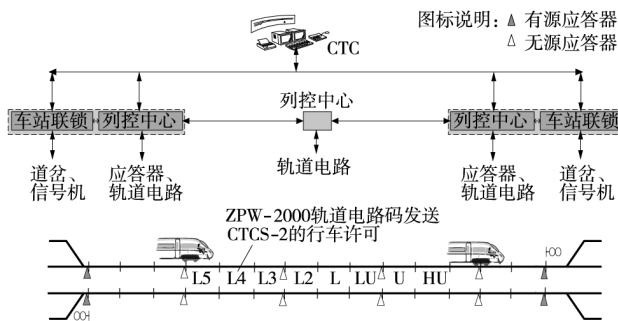
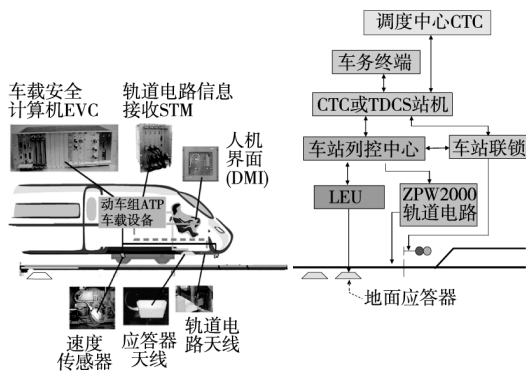


图 27 CTCS-2 系统设备结构
Fig. 27 CTCS-2 system equipment structure

(4) CTCS-3。CTCS-3 在 CTCS-2 基础上,地面增加了无线闭塞中心 RBC,车载 ATP 集成了 CTCS-2 模块,增加了无线接收模块。CTCS-3 系统原理见图 28,其系统设备结构见图 29。

信息码传输列控信息实现,点式应答器信息共用。CTCS-3 列控系统通过联锁和轨道电路获得前方列车位置信息,并通过无线方式传送给后续列车,后续列车的车载设备控制列车安全运行。

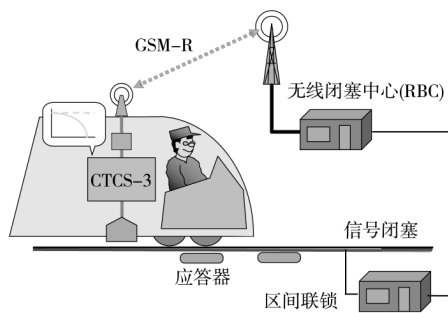


图 28 CTCS-3 系统原理
Fig. 28 CTCS-3 system principle

CTCS-3 列控系统基于 GSM-R 无线通信传输列控信息,其中的 CTCS-2 功能是通过轨道电路

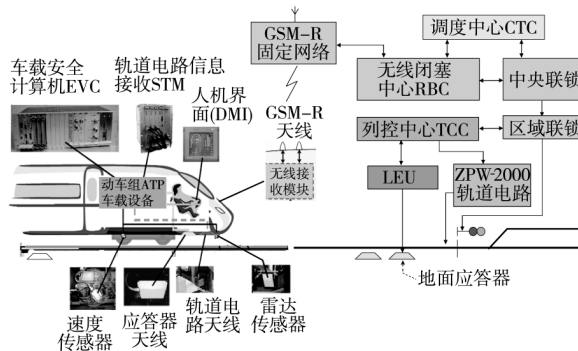


图 29 CTCS-3 系统设备结构
Fig. 29 CTCS-3 system equipment structure

(5) 高速动车组下到 200~250 km/h 铁路的列

控方式。装备 CTCS - 3 车载 ATP 设备的高速动车组在 300 ~ 350 km/h 铁路上按照 CTCS - 3 方式运行,当进入 200 ~ 250 km/h 铁路,通过执行点应答器时列控车载设备自动切换到 CTCS - 2 控制方式,按照 CTCS - 2 方式运行,见图 30。

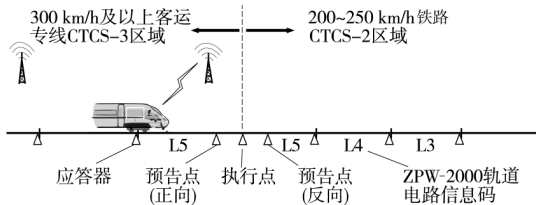


图 30 高速动车组下到 200 ~ 250 km/h 铁路的列控方式
Fig. 30 Train control of high-speed EMU on 200 ~ 250 km/h tracks

装备 CTCS - 2 车载的动车组上到 300 ~ 350 km/h 铁路时,300 ~ 350 km/h 铁路列控系统地面设备兼容 CTCS - 2,列控车载设备仍控制动车组按照 CTCS - 2 方式运行,见图 31。

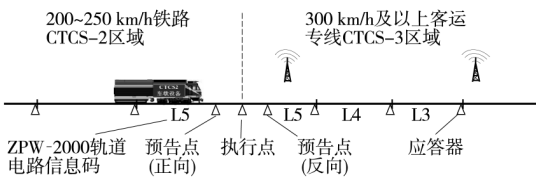


图 31 装备 CTCS - 2 车载的动车组上到 300 ~ 350 km/h 铁路

Fig. 31 EMU with CTCS - 2 running on 300 ~ 350 km/h tracks

(6) 列车控制系统关键技术。

- ① 车载设备,见图 32。
- ② 地面设备。

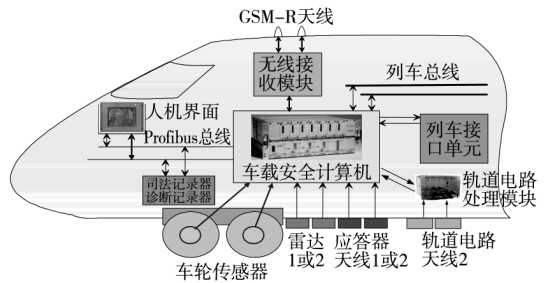


图 32 车载设备示意图
Fig. 32 On-train equipment

a. 无线闭塞中心,见图 33。

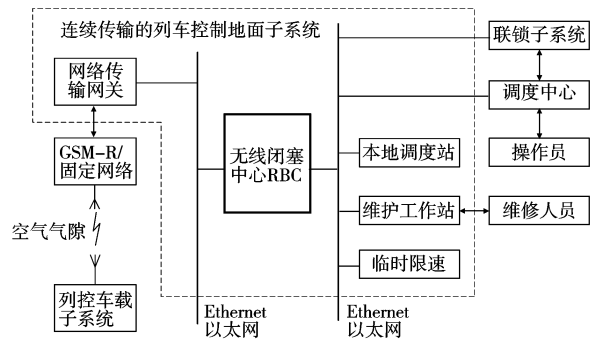


图 33 无线闭塞中心示意图
Fig. 33 Wireless blocking center

b. 列控中心:实现对 ZPW-2000 轨道电路的编码,控制应答器编码,通过轨旁电子单元向有源应答器发送临时限速信息,见图 34。

c. 无源应答器:

功能。无源应答器提供的信息主要包括线路的坡度、闭塞分区或轨道电路长度、载频、线路固定限速等信息。

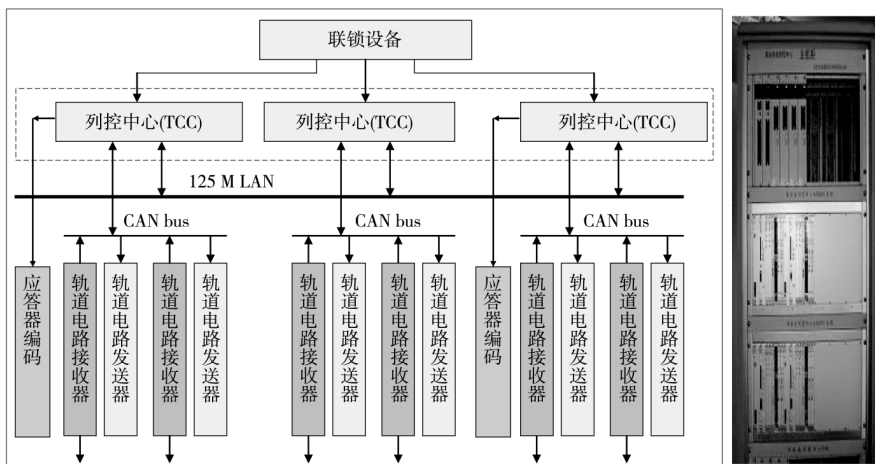


图 34 列控中心示意图
Fig. 34 Train control center

设置位置。区间根据需要在闭塞分区的分界处设置,其应用原则是:一处失效,不影响正常运用。

d. 有源应答器,电子单元 LEU:

功能。接收车站列控中心的信息,并向列车传送。LEU 的作用相当于功率放大器。有源应答器

提供的信息主要包括进路信息和临时限速信息。1 个 LEU 控制 4 台应答器。

设置位置。车站的 4 架进站信号机处各设 1 个有源应答器。

③ 联锁设备,见图 35。

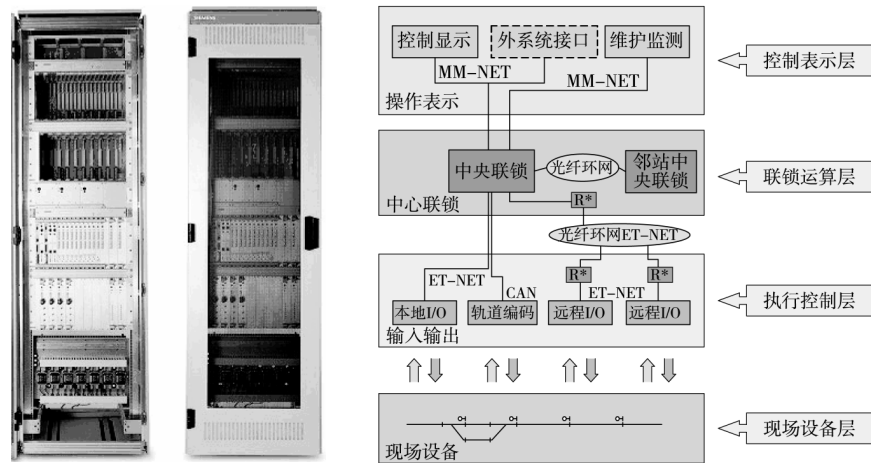


图 35 联锁设备示意图
Fig. 35 Interlocking equipment

3) 综合接地系统。综合接地是为了保证电气化铁路沿线设施和人身安全,更好地防止电磁干扰、雷电侵害而采取的措施。主要内容是路基、桥梁、房屋建筑等接地极的处理,沿线敷设综合贯通底线,沿线各种电气设施和金属构筑物接入;处理措施均要保证综合接地效果。

2.5 信息系统

信息系统主要由运输组织、客运营销、经营管理三大部分组成。分别包括运营调度,旅客运输管理;旅客服务,票务,市场营销策划;企业资源管理,办公自动化,财务、审计管理,统计分析,决策支持等子系统。

信息系统按部、局(公司)、站段分级结构架构,实行网络的逻辑分离,划分为安全生产网、内部服务网、外部服务网。信息系统构建坚持统筹规划,统一规范,统一标准,统一编码,信息互通,资源共享,可扩展的原则。

2.5.1 运营调度 高速铁路运营调度系统与既有铁路调度系统比较,具有以下特点:

- 调度区段长,范围大,时空概念发生变化;
- 以高速铁路点到点调度为主,同时兼顾网络;
- 运营调度的核心地位更显突出,综合性强,计划严格,效率高。

中国高速铁路运营调度系统,由于路网规模范

围大、行车密度高、运量大、兼容性要求高、控制因素多,因此,必须基于全国路网进行优化,确保时速 300 ~ 350 km 铁路与时速 200 ~ 250 km 客货共线铁路运输兼容;确保各线间运营调度的有机协调;满足高速列车按 3 min 追踪间隔运行时调度指挥的需要。

1) 运营调度系统集成的主要内容。包括计划编制、运行管理、车辆运用管理、供电调度管理、旅客服务、综合维修等功能。

运输计划是运营调度各项工作的基础和主线。计划编制主要是依据编制规则要求,调度集中提供计算机编制列车运行图及相关计划的信息,具备牵引计算、合理性检查和模拟仿真等功能。基本计划以线路、动车组、信号、车站等数据为依据,结合客流分析与列车开行方案进行编制。基本计划包括列车运行计划、动车组交路计划、车辆分配计划、乘务计划等。

运行管理功能(CTC 系统),是运营调度系统的核心,也是确保实现客运专线安全、高效的关键功能。主要是接收实施计划(包括列车运行、动车组运用、乘务安排、施工维修等实施计划),实现人工或自动生成列车运行调整计划、人工或自动进行列车进路控制、实施列车运行监视、绘制实绩列车运行图、实现列车跟踪及车次号校核等。系统能随时按业务需求的调整进行权限控制和功能切换。需要时,铁道部调度指挥中心可

接管高速铁路调度所指挥权。

车辆管理、供电管理、旅客服务、综合维修等功能主要是通过与车辆维修管理系统、供电系统、客运服务系统、票务系统、综合维修作业系统、防灾安全监控系统、通信系统、信号系统、视频监控系统的乘务管理系统、综合检测系统等实现信息共享,为编制基本计划及实施计划,合理掌握列车运行速度,安排和传递与旅客服务有关的事项,安排设备维修,处置突发事件,进行查询、统计、分析等提供依据和数据。

运营调度机构设置见图 36,其系统框架见图 37,业务流程见图 38。

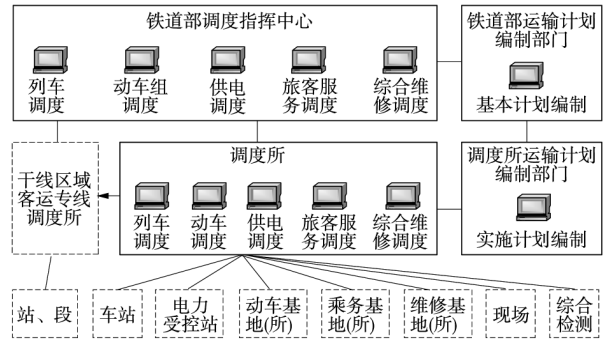


图 36 运营调度机构设置示意图
Fig. 36 Demonstration of operation and dispatching organs

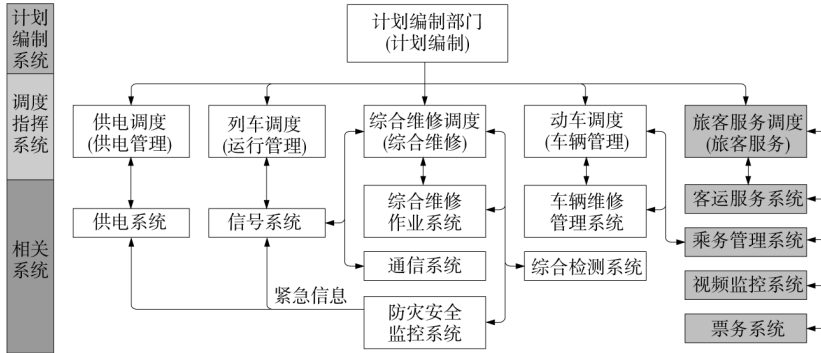


图 37 运营调度系统构架框图
Fig. 37 Framework of operation and dispatching system

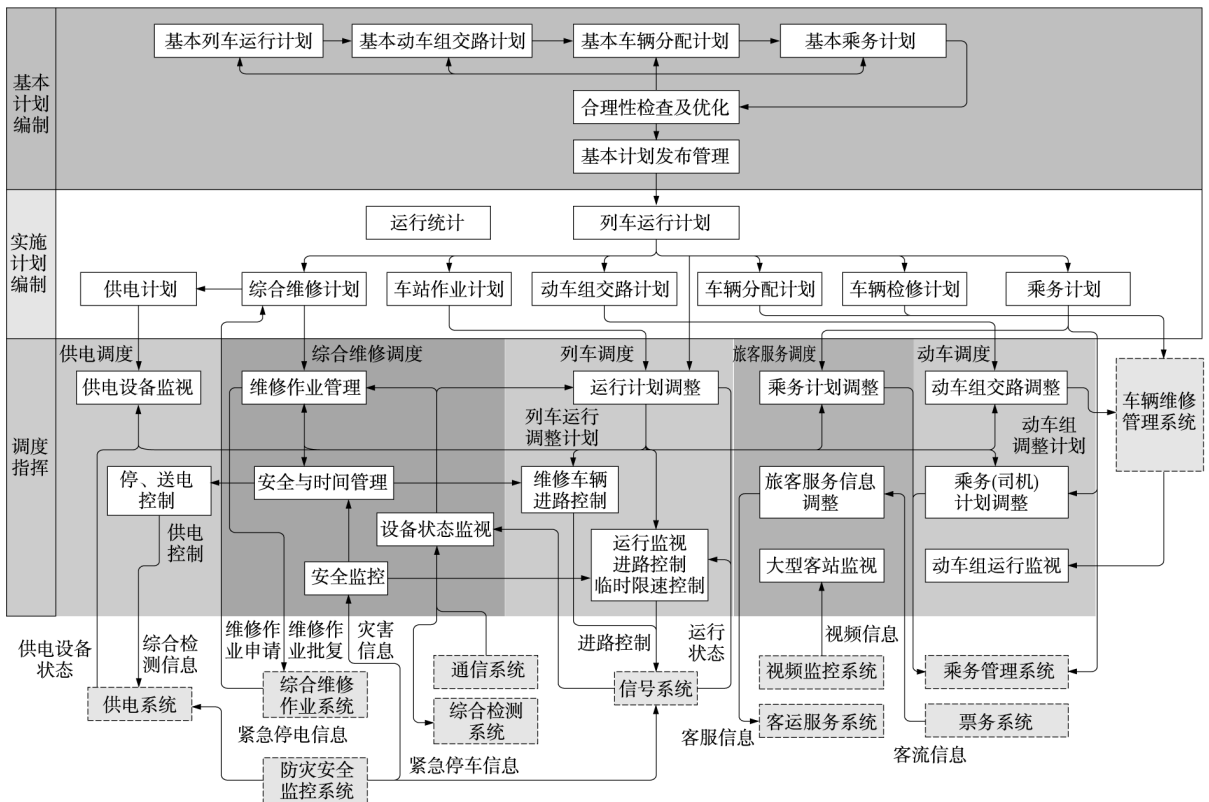


图 38 业务流程概要
Fig. 38 Summary of operation process

2) 高速铁路运营调度系统特别强调综合性。各调度工种,并不是各自拥有和使用自己的管理系统进行调度工作,而是共同使用综合运营调度系统进行工作。

各工种所有的调度员都集中在一个大厅内工作,以便于快速的工作联系和讨论。

调度所调度大厅内各调度台的布置有三种方案:

岛式布置方案。该方案调度员按工种围坐在一起,在大厅呈数个岛、每岛数人的岛式分布。

矩阵式布置方案。该方案调度员呈矩阵布置,分为数排,呈阶梯形面向显示大屏。

半圆形布置方案。该方案调度员呈扇形布置,面向显示大屏。

3) 经过多年的研究和建设,我国铁路已建成 TMIS 系统, TDCS 系统正在广泛应用,集成国内外成熟技术的 CTC 系统也已在秦沈客运专线、青藏线、胶济线建成使用,计算机编制列车运行图已在全路推广运用。一批企业和科研单位在运营调度系统的建设和运营方面取得了大量成果,积累了丰富的经验,储备了技术和人才。

我国高速铁路运营调度系统以国内企业为主体,借鉴国外高速铁路运营调度系统建设、运营的先进理念和成熟经验,依靠国内企业应用开发和系统集成力量,自主创新,创建拥有自主知识产权的运营

调度技术体系,实现客运专线运营调度现代化。

2.5.2 客运服务 高速铁路客运服务系统的特点:

客流大,旅客上下车频繁,服务档次要求高;系统交易量大,控制信息复杂,业务数据处理难度高。

客运服务包括票务系统、旅客服务系统、市场营销策划系统、客运组织管理等。

以席位管理和交易处理为核心,建立能够适应多种销售渠道和售票方式、多种支付形式、灵活的营销策略和定价政策,以自助式和自动化为主要售票方式的全路客运专线统一的票务系统。

以信息的自动采集为基础,以为旅客提供全方位信息服务为目标,实现客运车站信息自动广播、导向、揭示、监控等功能,提供互联网、呼叫中心、移动通信等多种途径的信息服务,运用多样化的服务手段为旅客提供优质服务,实现旅客服务和运营管理的信息化。

以现代营销理念为指导,以科学的数据分析方法为支撑,以先进的信息技术为手段,构建反应敏捷、实时决策、优化方案、综合评价、适应竞争要求的高效系统,为各类管理人员提供信息服务和决策支持。

1) 票务、市场营销策划系统。票务、市场营销策划系统功能见图 39。

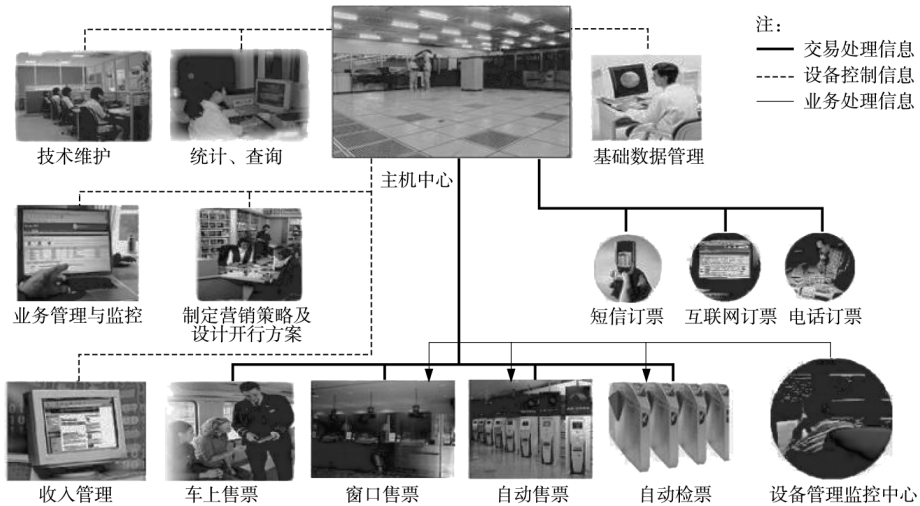


图 39 票务、市场营销策划系统功能
 Fig. 39 Function of ticket service, marketing system

2) 旅客服务系统。旅客服务系统功能见图 40。客运服务系统由局(公司)、车站两级构成,在行业主管部门设置旅客服务信息平台;建设的原则

是统一技术标准、基础平台、应用软件、规范管理。2.5.3 防灾安全监控 防灾安全监控系统对自然灾害及异物侵限等突发危害进行监测,提供灾害预

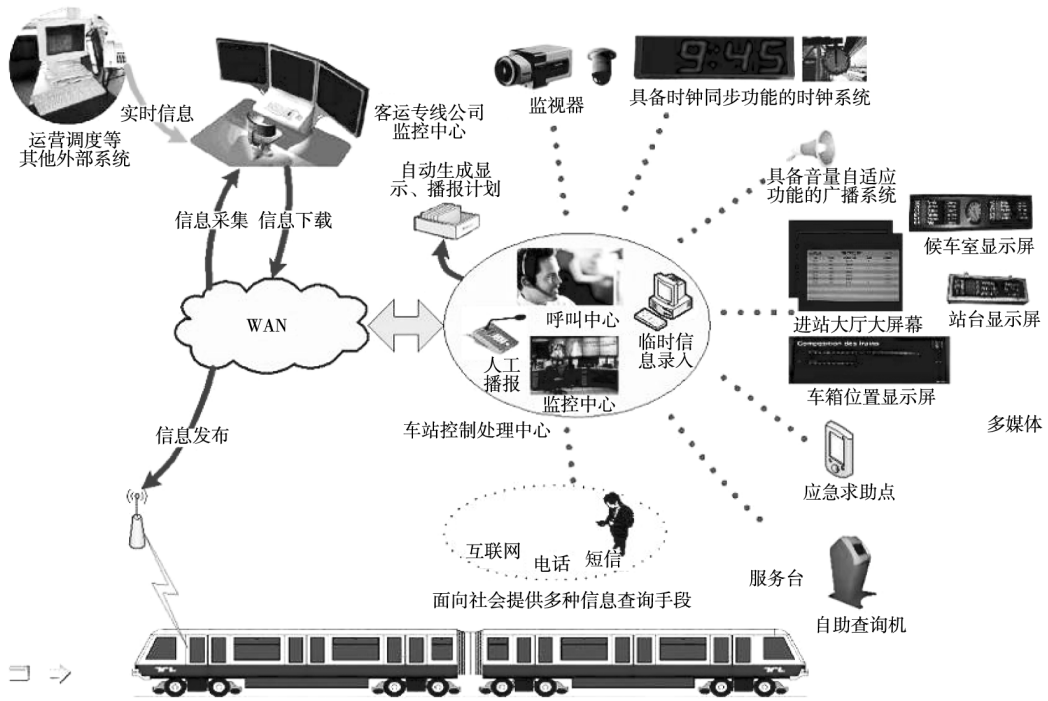


图 40 旅客服务系统功能
Fig. 40 Function of passenger service system

警信息。系统应与气象、地震检测等部门信息接口，充分利用专业台站预报信息。系统由调度所、车站设备和相关网络设备组成。

2.6 高速动车组

2.6.1 高速动车组发展趋势 国外先进的高速动车组已普遍采用了轻量化铝合金车体、高可靠性无摇枕转向架、大功率交直交牵引传动、微机控制电空联合制动、基于计算机和网络技术的列车控制和旅客信息系统等。

由于动力分散动车组与动力集中动车组比较在高速运用条件下有明显的优点，因此动力分散是高速动车组的发展趋势。

动力分散动车组优点：牵引功率大，载客人数量多；轴重小，黏着力利用合理；启动快，加速性能好；运用可靠，不需换向；利用率高，适合公文化客运；编组灵活，经济效益高。

2.6.2 动车组关键技术(见图 41)

2.6.3 中国铁路高速 2 型动车组 CRH2(见图 42)

CRH2 动车组主要参数：

- 总长 201.4 m
- 头车长度 25.7 m
- 中间车长度 25 m
- 车体宽度 3.38 m
- 车体高度 3.7 m

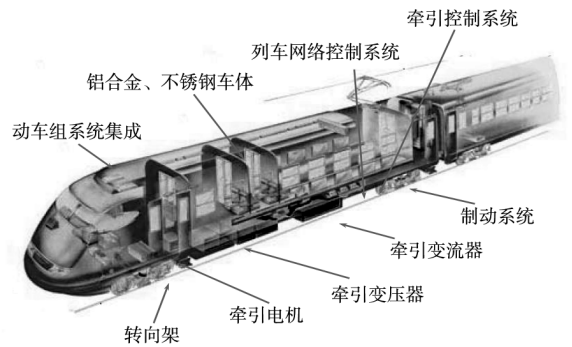


图 41 动车组九大关键技术示意图
Fig. 41 Demonstration of 9 key technologies of EMU



图 42 CRH2 高速动车组
Fig. 42 High-speed CRH2 EMU

适应站台高度 1.25 m

2.6.4 中国铁路高速 3 型动车组 CRH3(见图 43)



图 43 CRH3 高速动车组
Fig. 43 High-speed CRH3 EMU

CRH3 动车组主要参数:

- 总长 约 200 m
- 头车长度 25.70 m
- 中间车长度 25 m
- 车体宽度 3.3 m
- 车体高度 3.89 m
- 适应站台高度 1.25 m

2.6.5 CRH 动车组特性曲线(见图 44)

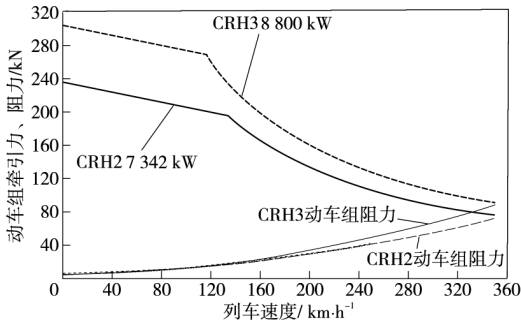


图 44 CRH 动车组特性曲线
Fig. 44 CRH EMU characteristic curve

时速 200 km 及以上动车组技术引进、吸收、消化和再创新工作,正在按计划顺利推进。第六次大面积提速调图时速 200 ~ 250 km 动车组已上线运行,具有中国自主知识产权的 300 km/h 的 CRH-300 动车组开发进展顺利,2008 年将投入运用。为适应大运力、长运距的高速客运需要,铁道部正在积极组织 16 辆长编组座车和世界首创的长编组高速卧铺车的开发,也将在 2008 年完成;还将根据运输需要继续开发双层客车等形式的高速动车组。届时,国内企业将掌握包括关键技术在内的动车组技术,在技术上处于主导地位,国产化率将达到 70% 以上,并形成开发和制造高速动车组系列产品,生产一流水平的中国品牌动车组的能力。到“十一五”末期,我国机车车辆装备制造业必将跨入国际先进水平的

行列。

2.7 运用维修

2.7.1 综合维修 高速铁路的综合维修采用综合检测列车、钢轨探伤车和轨道状态确认车等,实现对轨道几何状态、接触网及受流状态、通信信号设备工况、钢轨表面及内部伤损、轨道部件状态、线路限界侵入等的定期检测和临时检测,向调度指挥中心(综合维修系统)、地面维修部门发送信息,并作为制定维修计划和安排综合维修天窗的主要依据。

中国高速铁路综合维修:借鉴国外经验,结合中国高速铁路的具体情况,建立包括各专业的综合维修体系。

利用现代化的维修、检测手段进行“天窗”修:合理安排维修“天窗”,采用先进的综合维修、检测手段,确保高速铁路安全、高效地运营。

高速铁路对轨道平顺度有严格的精度要求,见表 18。

表 18 轨道平顺度精度标准表

Table 18 Precision standard of track smoothness

速度 /km·h ⁻¹	轨道类型	高低 /mm	轨向 /mm	水平 /mm	轨距 /mm
300 ~ 350	无砟	2	2	1	±1
	有砟	2	2	2	±2
200 ~ 250	无砟	2	2	1	±1
	有砟	2	2	2	±2
200	无砟	2	2	2	±1
	有砟	3	3	3	±2
160	有砟	6	5	6	+6 -4

2.7.2 高速综合检测列车 综合检测列车是实施定期检测、综合检测和高速检测的重要手段。实现对轨道、接触网、通信信号等基础设施的综合检测。

充分利用我国已开发出的高速动车组,结合先进的综合检测技术和设备,通过系统集成,开发我国 300 km/h 高速综合检测列车。

综合检测列车主要装备:录象装置、架线间隔测定装置、ATC 测定装置、列车无线设备测定装置及测定台;轴重横压测定轴、轴箱测定加速度计;轨道高低变位和车辆摇动测定装置、线路状态监视装置、轮重横压数据处理装置和录象装置;架线磨耗偏位高低测定装置、集电状态监视装置、受电弓观测装置;电力测定台、数据处理装置、供电回路测定装置、车次号地面设备测定装置。

2.7.3 大型养路机械设备 采用大型养路机械维修线路。主要配置三枕捣固综合作业车、正线和道

岔综合作业捣固车、高精度连续式捣固车、高效清筛机、路基处理车、线路大修列车、96 头钢轨打磨车、道岔清筛机、移动式焊轨车和大容量物料运输车等大型养路机械设备。

2.7.4 动车组运用检修设备 动车段(所、厂)按路网规划,枢纽总图布局,近远期结合,统筹设置,分期实施。运用检修设备按“集中检修,分散存放”的原则、“快速检修,安全可靠,高效运营”的运营要求设计。

3 中国高速铁路工程实践

世界高速铁路列车运行速度,从 20 世纪 60 年代的 210 km/h 开始,至 90 年代已提高到 300 km/h。目前,在建高速铁路的设计速度多为 350 km/h。世界高速铁路的发展表明,300 km/h 等级高速铁路技术已经成熟。我国高速铁路发展,一直遵循着科技攻关、试验验证、工程实践和推广应用的科学规律。工程实践和运营业绩表明,基础设施、移动装备、行车环境、运输组织、人员培训均进入高速铁路领域。

3.1 秦沈客运专线高速试验段

秦沈客运专线在山海关—绥中北间修建了 66.8 km 的综合试验段。试验段的线路平面最小曲线半径为 5 500 m;铺设 60 kg/m 高速钢轨;有 24 km 的接触网采用镁铜导线,按 300 km/h 速度要求进行设计,下行线为全补偿简单链形悬挂,上行线为全补偿弹性链形悬挂。试验段内设计了不同类型的桥梁、桥上无砟轨道、接触网支柱,不同填土厚度的涵洞,不同基床表层结构的路基和不同处理措施的路桥过渡段,以便进行路基、桥梁、线路、弓网、通信信号和动车组的高速试验,验证高速铁路科研成果的科学性、合理性。

铁道部于 2001 年至 2002 年在秦沈线组织进行了综合试验,全面检验了安全平稳性。山绥综合试验段的路基、桥梁、无砟轨道和接触网等完全可以满足 250 km/h 速度运行的安全性、平稳性要求,最高试验速度 321.5 km/h。

秦沈线建设中取得许多技术突破。采用先进的单枕连续铺设法,运用成套铺轨机械和钢轨接触焊作业车成功地完成了无缝线路的一次铺设,使我国跨区间无缝线路的综合技术大大提高;在沙河、狗河和双何特大桥上分别铺设了长枕埋入式和板式无砟轨道,发展了轨道结构的新形式,研究开发了无砟轨

道的施工工艺和机具;研制出 38 号大号码道岔,提高了我国道岔的设计、制造和安装水平;研制成功箱梁架桥机、拼装式架桥机、双导梁轮轨式架桥机等重型架桥机和运梁车,重型移动模架式造桥机和移动支架式造桥机,使造桥技术多样化。将路基作为重要结构物来设计施工,提高了对填筑材料、压实标准、变形控制、检测的要求,路基基床结构大大强化;在路堤与桥(涵)间设置了一定长度的过渡段,从结构、填料、压实标准等多方面对过渡段提出新标准,以控制轨道刚度的逐渐变化,并最大限度地减少由于路基与桥涵沉降不均匀而引起的轨道不平顺;对于 200 km/h 行车的轨道不平顺进行了详细研究,初步提出了轨道不平顺管理标准。

通过秦沈线的建设,我国铁路加强了对时速 200 km 及以上铁路的关键技术的认识和实践,积累了设计、施工、制造和调试的经验,提高了线桥工程建造技术水平,初步具备建设高速铁路的能力。

3.2 遂渝线无砟轨道试验段

2004 年 9 月,铁道部决定在遂渝线铺设无砟轨道试验段,系统地研究解决不同类型无砟轨道结构、岔区无砟轨道、路基及过渡段的结构形式、桥梁及路基变形对无砟轨道的影响、减振降噪措施和无砟轨道对信号系统的适应性等关键技术。

遂渝线无砟轨道试验段设于北碚北站—井口站间 DK125+676 至 DK138+893,线路平面 200 km/h 条件,全长 13.157 双线 km,见图 45。铺设双块式无砟轨道、轨枕埋入式无砟轨道、板式轨道(含普通板式、框架型和减振型)和纵连式板式轨道等不同结构类型,其基础有路基、过渡段、桥涵、隧道和道岔等不同类型。试验段工程 2006 年 12 月全线竣工。



图 45 遂渝线无砟轨道试验段
Fig. 45 Experiment section of ballastless tracks on suiyu line

2007 年 1 月 5 日~10 日,铁道部进行了“遂渝线无砟轨道试验段综合试验”。通过对 CRH2 型动车组和 2 台 SS7E 电力机车牵引轴重分别为 23t、25t

的货物列车的作用下,自主研发的不同类型无砟轨道结构、客混 18 号无砟道岔、客专 18 号无砟道岔、路基及过渡段、无砟轨道桥涵的动力性能,动车组气动力,无砟轨道隧道气动性能,无砟轨道噪声振动,车载信号电气特性和综合接地系统等 9 项内容进行了系统测试。同时,还对动车组和货物列车的动力学性能、弓网受流性能进行了安全监测。CRH2 动车组的最高试验速度达到 232.2 km/h,货物列车的最高试验速度达到了 141 km/h。图 46 为遂渝线试验段铺设的无砟轨道。



图 46 遂渝线试验段铺设的无砟轨道
Fig. 46 Ballastless tracks laid on experiment section of suiyu line

综合试验结果表明,遂渝线无砟轨道试验段状态良好,满足 200 km/h 的动车组和 120 km/h、25 t 轴重的货物列车的运行安全性和平稳性等项设计要求。取得了多项创新成果:在不同结构物上无砟轨道的计算原理和设计方法、无砟轨道绝缘处理措施及 ZPW-2000 轨道电路传输性能、路基沉降控制、线下工程变形控制、测量控制、扣件、道岔、施工工艺、施工装备等方面取得了比较系统的研究成果,基本掌握了具有自主知识产权的无砟轨道成套技术,对进一步发展我国无砟轨道技术和高速铁路建设具有重要意义。

3.3 既有线大面积提速 250 km/h 路段

国际上目前公认,客货共线运行 250 km/h 铁路,属高速铁路。铁道部为开展高速铁路建设提供了强有力的技术支撑,积累了建设和运营管理经验,将线路平面条件较好的京广、京沪线中两路段适当进行技术改造,速度提高到 250 km/h,见图 47。

按照客货共线运行 250 km/h 铁路特点,完成技术改造后,分别进行了 CTCS-2 级列控系统试验、CRH2 型动车组牵引制动性能试验、弓网受流性能



图 47 部分路段经技术改造后速度达 250 km/h
Fig. 47 Train speed reaches 250 km/h after technological upgrading of some sections

试验、牵引变电所谐波测试、列车交会综合试验、调度集中系统(CTC)功能验证、GSM-R 数据通信及传输特性试验、高速列车追踪运行对轨道电路的干扰试验、18 号道岔过岔速度试验、既有线非改建地段提速 250 km/h 路基动力性能、路桥过渡段和预应力混凝土 T 梁的动力性能等试验。试验结果表明,我国铁路取得了八个方面创新成果,技术指标满足开行 250 km/h 动车组要求。

2007 年 4 月 18 日至今,京广线苏桥至大刘庄段、京沪线昆山至上海西段,动车组 250 km/h 客货共线运行,创下了日行车量分别达 260 列以上运营业绩,证明了技术的可行性,安全的可靠性,也对中国建设高速铁路技术储备,尤其是系统集成技术进行了实战演练,表明我国已具备建设高速铁路的条件和实力。

3.4 几个工程试验段

通过第六次大面积提速改造,我国铁路目前已有 846 km 延展线路列车运行时速 250 km/h,具备 300 km/h 等级高速铁路的技术储备。日本专家对此曾表示:回想日本刚建新干线时,当时日本的技术水平应该比现在中国的铁路技术水平低很多。尽管如此,考虑已经展开的客运专线建设规模大、标准高,是铁路建设史上前所未有的;我国幅员辽阔、自然特征多样,软土、松软土、湿陷性黄土、大面积沉降区域地基处置,大江大河跨越,长大隧道通过,其难度世界上也是少有的;我国没有时速 300 km/h 等级的高速铁路建设和运营经验。中国铁路在高速铁路技术上始终持谨慎态度,结合京津、武广、郑西、合宁等建设项目,选择代表性软土和松软土地基、大面积沉降区、深厚软土地基、湿陷性黄土地基、膨胀土地基路段进行工程试验,先行实施,取得数模、物模参数和经验,指导高速铁路建设。

结语

经过多年的科技攻关、试验验证、工程实践,我

国自主创新的高速铁路技术体系已经初步建立,已具备高速铁路固定设施和移动设备自主设计、制造、生产能力;中国经济的持续快速发展和国力的极大增强,为我国建设高速铁路提供了巨大的市场需求和资金保障。只要我们充分发挥我国集中力量办大事的优势,吸收世界高速铁路先进、成熟的技术成果,创新完善提高,精心组织、精心设计、精心施工,

就一定能建设出具有中国特色的世界一流高速铁路,一定能形成具有自主知识产权的高速铁路技术体系。

参考文献

- [1] 新建时速 300 ~ 350 km 客运专线铁路设计暂行规定[S]. 中国铁道出版社,2007

The Innovative Chinese High-speed Railway Technology

He Huawu

(*Ministry of Railways, Beijing 100844, China*)

[**Abstract**] High-speed railway technology is a super large and very complex engineering system. The paper introduces the current situation of China railway system, noting that it is very urgent for China to push ahead railway construction, especially, high-speed railway construction by drawing experiences from all around the world and carrying out experiment on our own, thus developing an innovative high-speed railway technological system with Chinese characteristics. Some engineering projects under construction are also cited in the paper.

[**Key words**] high-speed railway in China; innovation; technological system; engineering practice