

# 下一代高速智能化动车组研发构想<sup>\*</sup>

邓海<sup>1</sup> 张国芹<sup>1</sup> 张岩<sup>2</sup> 王树宾<sup>3</sup> 王超<sup>1</sup>

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司国家轨道客车工程研究中心, 130062, 长春;

2. 中国铁道科学研究院集团有限公司机车车辆研究所, 100081, 北京;

3. 中车长春轨道客车股份有限公司科技管理部, 130062, 长春//第一作者, 正高级工程师)

**摘要** 根据对国外下一代高速动车组的调研, 基于我国高速动车组的发展现状、关键智能技术, 以及智能化高铁发展战略, 提出未来高速智能化动车组将基于以太网技术、大容量车-地传输技术、智能化物联网技术、自动驾驶技术及辅助驾驶技术、旅客在途智能化服务技术、智能化运维技术、系统集成融合技术等的发展, 在更智能化、更节能、更安全、更经济、更舒适、更友好等6方面进行提升, 最终推动智慧融合的下一代高速动车组技术平台建设及大数据构架下的全产业链的技术创新。

**关键词** 高速智能化动车组; 研发; 构想

**中图分类号** U266.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.02.004

## Development Concept of Next Generation High-speed Intelligent EMU

DENG Hai, ZHANG Guoqin, ZHANG Yan, WANG Shubin, WANG Chao

**Abstract** Based on an investigation of the next generation EMU abroad, the development status of EMU in China, the key intelligent technologies and the development strategy of intelligent high-speed railway, it can be proposed that the future high-speed intelligent EMU will be based on the development of Ethernet technology, large-capacity vehicle to ground transmission technology, intelligent Internet of Things technology, automatic driving and assistant driving technology, intelligent service technology for passenger in transit, intelligent operation and maintenance technology, system integration and fusion technology, etc. The next generation intelligent EMU will be improved in the following 6 aspects: more intelligent, more energy-saving, safer, more economical, comfortable and friendly. All this will promote the construction of next generation high-speed EMU technology platform under the integration of wisdom, and the technological innovation of the whole industry chain under the framework of big data.

**Key words** high-speed intelligent EMU; research and development; concept

**First-author's address** National Engineering Research Center of Railway Vehicles, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

随着信息化发展步伐的加快, 大数据、物联网和智能化技术得到了普遍发展, 全球各大领域均在推行数字化和智慧化发展战略。中国高铁的智能化发展将作为智慧城市及智慧国家发展的有力支撑。文献[1]表示中国智能化高铁将采用云计算、物联网、大数据、北斗定位、5G(第五代移动通信)、人工智能等先进技术, 通过新一代信息技术与高铁技术的集成融合, 实现高铁建造智能化、装备智能化、运营技术智能化水平的全面提升, 使高铁运营更加安全高效、绿色环保、便捷舒适。

京张高铁及京熊高铁智能化动车组的研制, 实现了高速动车组的自动驾驶, 同时为旅客提供了更加便捷的智能化服务。动车组采用基于PHM(比例故障率模型)的智能化运维, 推动了我国高铁综合技术创新持续领跑世界。高速动车组智能化升级是下一代高速动车组发展的重要目标。

## 1 国内外高速动车组发展现状

### 1.1 国外下一代高速动车组发展现状

#### 1.1.1 日本下一代高速动车组 ALFA-X

日本下一代高速动车组 ALFA-X(见图1)为10辆编组<sup>[2]</sup>, 其主要创新点如下:

1) 配备车载地震预警系统、紧急停车系统及防脱轨系统。

2) 车体具有高耐寒、高耐雪等特性。同时搭载晃车阻尼器, 实现车内空间晃车振动小、噪声低。

<sup>\*</sup> 国家重点研发计划项目(2020YFF0304103)

- 3) 通过研发新技术来抑制车底和受电弓噪声,更好地实现节能减排效果。
- 4) 利用物联网、大数据、人工智能等新技术,优化了列车网络控制系统和信息管理系统,提高了动车组的维修性。日本下一代高速动车组 ALFA-X 实施状态修示意图 2。

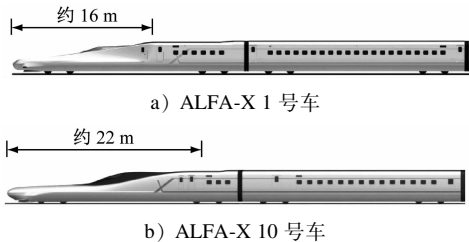


图 1 日本下一代高速动车组 ALFA-X  
Fig. 1 ALFA-X, next generation high-speed EMU of Japan

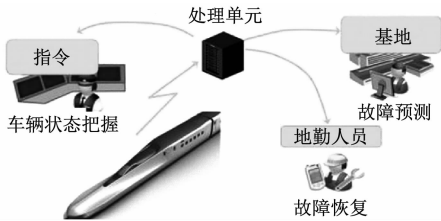


图 2 日本下一代高速动车组 ALFA-X 实施状态修示意图  
Fig. 2 Schematic diagram of implement condition based maintenance for ALFA-X, next generation high-speed EMU of Japan

### 1.1.2 法国下一代高速动车组 Avelia Horizon

Avelia Horizon 是 SNCF(法国国营铁路公司)与阿尔斯通公司合作研发的第 5 代 TGV 双层动车组,见图 3。该动车组有着现代化的旅客服务系统,具有载客量大、运营维护成本低、环境友好、可靠性高等特点。除此之外,碳纤维材料、SiC(碳化硅)材料及永磁技术有望在该动车组上得到应用。



图 3 法国下一代高速动车组 Avelia Horizon  
Fig. 3 Avelia Horizon, next generation high-speed EMU of France

- 法国下一代高速动车组研制的量化目标为:
- 1) 降低建设与运行成本至少 20%。
  - 2) 材料循环利用率提升到 90%。
  - 3) 能源消耗降低至少 25%。

- 4) 载客能力提升 20%。
- 5) 大幅降低维修成本。
- 6) 列车内饰采用模块化设计,同时改善车辆服务设施,提升旅客的乘车便利性。

除此之外,在智能化方面引入更先进的故障分析微机系统。

### 1.1.3 德国下一代高速动车组 ICE4

德国下一代高速动车组的总体目标为:降低生命周期成本,满足严格的安全要求,提高与其他运输模式的竞争能力,以及满足乘客对舒适性期望等。西门子股份公司开发了基于实时以太网的可灵活编组的动车组 ICE4,其主要技术创新如下:

- 1) 基于模块化的设计理念,动车组集成各类驱动技术,可自成一體,灵活连挂,支持 5 ~ 14 节灵活编组。
- 2) 配备 Sibas PN 控制系统与 ETB(列车级交换机) + Profinet(新一代基于工业以太网技术的自动化总线标准)的两级实时以太网列车总线,传输速率均达 100 Mbit/s。
- 3) 轻量化的转向架(质量降低 5%)。
- 4) 座位数增加 87 个。
- 5) 降低能耗 20%。

## 1.2 我国高速智能化动车组发展概况

### 1.2.1 复兴号动车组

复兴号动车组(见图 4)的研发适合中国的国情,全面提升了动车组设计、软件开发、制造技术的现代化水平,实现了我国高铁动车组自主化、标准化和系列化,以及动车组由中国制造到中国创造的跨越。复兴号动车组是由中国国家铁路集团有限公司牵头组织研制的具有完全自主知识产权、达到世界先进水平的动车组。该动车组运行总能耗较 CRH380 型动车组下降了约 10%,是世界上首次实现时速 350 km 运营的动车组。



图 4 复兴号动车组  
Fig. 4 Fuxing EMU of China

复兴号动车组具有以下特点:

1) 列车级控制网络基于 TCN(全生命周期管理)+百兆工业以太网总线,实现了系统状态、运行参数、故障信息的实时监视、诊断分析、存储及下载等功能。

2) 增强了列车监测、诊断和控制范围。全列共有 1 500 个传感器及 2 500 个监测点,可实现动车组运行状态感知、监测、诊断、报警及自动控车。

3) 4G(第四代移动通信)车-地数据传输。采用 WLAN(无线局域网)设备、以太网单点维护、故障自动识别等技术手段提高了动车组的运用检修效率。

4) 实现 96 项零部件统型,统一修程修制。

5) 车载设备监测主要由单独的系统或者部件完成,对大量数据综合利用处理的判断还存在提升空间。

### 1.2.2 京张高铁智能化动车组

在复兴号动车组的基础上,为适应京张高铁高寒冷、多山区、多桥隧、大风沙等环境特点,以及满足奥运服务需求,研发了中国高铁智能型动车组 1.0(见图 5)。从动车组运营的多主体需求出发,在行车、运维、服务等 3 方面开展了智能化提升。

1) 行车方面:在世界上首次实现了时速 350 km 有人值守的自动驾驶功能;采用流线型低阻力车头,实现了列车气动阻力系数减少约 9%;具备 30‰坡道牵引及制动能力;采用地震预警系统,提高了铁路线路运行安全保障;设置安全监控系统,增加 160 个振动和温度复合传感器,整车安全监控由单部件、单车级的安全监控提升至多系统、整车级的交互监控。

2) 服务方面:5G 技术实现了车辆娱乐系统及数据传输智能化提升;采用变频空调、灰水再利用系统、直饮水、车身轻量化、环保节能材料及可回收材料等,实现节能环保;设置机械师室和乘务员室集成屏,实现数据统一显示与集中挖掘,使得作业

智能化水平进一步提高;主动降噪技术、压力波自动调节及变色车窗提升了动车组的感官舒适度;首次实现站车一体化服务的提升转型,以及站车信息的进一步交互,确保旅客服务信息贯穿覆盖全过程;全包围商务坐席提高了动车组的私密性。

3) 运维方面:采用故障诊断及预警报警、故障精确定位、备品备件动态预测等技术,同时提供运维决策建议,实现列车服役性能由阈值管理向状态管理的提升。

## 2 下一代高速智能化动车组研究目的及意义

### 2.1 运行更安全节能

面向广域服役环境以及复杂载荷工况,现有动车组技术已经实现了应急自走行、牵引和制动等技术的研发,这直接影响到动车组关键系统及其部件的自动动态监控、监控及预警。

随着动车组网联化程度的提高,智能传感器、物联网、射频识别等多维度现代电子监测感知手段,在车-车、车-地互联模式中越来越多地参与车辆状态数据采集、分析与交互。同步利用信息技术融合应用及统一挖掘,进一步加深对动车组自身状态、环境状态及运行数据等不同层次、维度的状态监测;综合智能化诊断,增加了列车自感知的广度和故障定位的精度,进而实现风险隐患自动排查、事故主动预防及故障快速处置,提高了列车运行平稳性和安全保障,提高了自动驾驶等级,进一步适应高速运行模式,确保动车组运营秩序。

通过大系统统筹及多目标均衡综合节能技术,在行车技术水平提高的基础上可进一步实现车辆综合节能。

### 2.2 出行更便捷高效

以用户需求为导向,利用大数据、移动应用、身份验证、智能化环境调节、多元化信息服务、在线支付等技术,通过服务层次的多元化及服务精准度的提升,提高动车组对旅客服务需求的可满足性与服务品质,满足旅客在途与列车、外界及铁路客运服务平台之间的信息交互需求。

基于人因工程、智能化环境感知调节技术,以及智能化的友好型界面技术,可实现灯光、空气质量、噪声等旅客界面的智能化控制,以及实现旅客视觉、听觉、嗅觉、触觉等感官舒适度的提升。可为



图 5 京张高铁智能化动车组

Fig. 5 Beijing—Zhangjiakou intelligent high-speed EMU

运营部门提供更精准的车辆状态展示及服务推送,以提高服务的精准度及无干扰水平。

### 2.3 检修更精准

以“状态修”和“预测修”为目标,通过大数据的积累及设备劣化机理的掌握,提升车载设备精细化管理水平,准确预判设备维修时间和内容,以降低设备运维成本,精准推送维修建议及指导,最终实现动车组全寿命周期的智能化提升。

## 3 下一代高速智能化动车组研发思路及构想

### 3.1 下一代高速智能化动车组的主要特征

#### 3.1.1 更智能

广泛应用智能技术与动车组技术的融合,通过系统集成、融合挖掘、集中展示、车地交互等手段,使下一代动车组更加智能化,具备可测、可视、可控、可响应、可互联等 5 个维度的核心特征,以满足动车组运行智能化、运维智能化、在途服务智能化、在途安全保障智能化等需求。

#### 3.1.2 更安全

通过开展主动/被动安全结构设计、网络域安全规划及防护设计、系统融合状态管控来实现车辆泛在安全设计的提升。

#### 3.1.3 更节能

深入开展新能源、新材料、轻量化结构、系统节能控制及大系统协同控制等技术研究,进一步提升环保性指标。采用多目标均衡综合节能技术,动车组整车能耗可减少 10% ~ 15%。

#### 3.1.4 更经济

深入开展智能化技术研究及应用,提升 PHM (故障预测与健康管理的) 技术水平,实现自诊断、自决策、自感知,同时不断提高状态修、经济修技术,使下一代高速动车组具有更好的经济性,力争其全寿命周期成本降低 10% ~ 15%,车辆可用性提升 5% ~ 10%。

#### 3.1.5 更舒适

通过改善动车组的乘坐环境及列车运行平稳性,提高旅客乘坐舒适性。车内噪声可降低 3 ~ 5 dB,运行平稳性(舒适性)指标可提升 10%。

#### 3.1.6 更友好

基于人因工程以及智能化的友好型界面技术,实现灯光、空气质量等旅客界面的智能化控制,提升旅客乘坐体验;但需在操作、乘坐、维保、驾驶等

人机环境的安全性、舒适性、可靠性及可操作性方面作进一步提升。

### 3.2 下一代高速智能化动车组的关键技术

#### 3.2.1 以太网技术

开展高铁车载实时以太网技术研究,依靠以太网更快的传输带宽和分布式系统特性,可以使列车具有更好的控制性能和更可靠的数据传输。如何确保系统的可靠性和安全性是以太网技术应用必须解决的问题。

#### 3.2.2 大容量车地传输技术

互联网能力在智能化动车组的发展过程中起到了至关重要的作用。推进 5G 技术车载开发的应用,推动云计算、物联网、大数据技术在动车组上落地,使得动车组与万物泛在互联成为可能。

#### 3.2.3 智能化物联网技术

进一步提升 RFID (射频识别)、激光扫描器、生物特征识别、智能传感器、卫星空间定位等信息感知设备的应用价值,通过车-车以及扩大的车-地之间的车载设备连接网络,实现信息交换和通信,以及列车范围内广泛对象的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理。

#### 3.2.4 自动驾驶技术及辅助驾驶技术

高速动车组的自动驾驶既是我国高铁技术发展,以及确立我国高铁整体技术水平国际地位的需要,也是智能化高铁系统的关键技术之一。随着下一代通信技术、北斗卫星导航、云计算、大数据、人工智能等新技术的进一步发展与应用,需进一步探讨高铁无人驾驶功能需考虑的因素、节能驾驶策略,以及动车组在复杂驾驶条件下的运行安全<sup>[3]</sup>。

#### 3.2.5 旅客在途智能化服务技术

利用 APP (应用软件)、车内信息显示、电视分屏等多元服务手段、信息交互融合技术实现旅客信息的精准推送;利用车载视屏联网、文字语音转换技术、车地数据传输交互技术等进一步提高服务效率和质量。同时推进 Wi-Fi (无线网络) 数据增值业务拓展,推进人工智能技术车载化的发展。通过增加环境状态的感知测点、优化细化控制策略实现对空气环境、灯光光线等客室环境的精确调控。

#### 3.2.6 智能化运维技术

结合我国高铁的运营特点和新型维修服务需求,以“预测维护”为目标,在车辆上增加车载故障预测与健康管理系统,利用先进的定位识别技术,配合地面运维系统,通过动车组在途状态实时与历

史数据的对比,基于大数据分析处理技术实现对高速动车组运行状态的安全评估,以及服役性能监测、预警及预测。在此基础上,提供并优化维修决策和维修保障手段,及早发现和处理动车组故障,实现列车故障预警报警、故障精确定位、运维决策建议、修程修志优化及预测性维修<sup>[9]</sup>。

### 3.2.7 系统集成融合技术

高速动车组是一个耦合大系统,涉及到多学科的交叉研究内容。该系统集成融合技术在动车组设计中落地,主要考虑2个方面:一是智能化信息技术与动车组技术融合;二是动车组上各系统之间的数据共享和融合,以及实现车-车、车-地业务一体化发展需求之间的数据共享和融合。

## 4 我国下一代高速智能化动车组设计技术展望

根据对国外下一代高速动车组的调研,基于我国高速动车组发展现状和关键智能技术研究,下一代高速智能化动车组将在更智能、更节能、更安全、更经济、更舒适、更友好等方面进行提升。

### 4.1 下一代高速智能化动车组技术平台建设

基于多目标、多学科的高速动车组优化设计环

境,基于互联互通、大系统共融及业务一体化发展需求,发展具有代际特征的中国标准动车组设计体系,丰富和完善智能化动车组的设计标准,完成下一代智能化高速动车组平台建设。

### 4.2 大数据构架下全产业链的技术创新

基于大数据分析融合,带动智能化设计、智能化制造、智能化配套、智能化管理等全产业链的技术创新,尤其是在结构创新、材料应用创新、控制技术创新等方面将有进一步的突破提升。

## 参考文献

- [1] 陆东福. 打造中国高铁亮丽名片[J]. 求是, 2021(15): 53.  
LU Dongfu. Build high-speed trains into an impressive calling card of China[J]. Qiushi, 2021(15): 53.
- [2] 南正时. 日本新干线试验列车的开发[J]. 国外铁道车辆, 2020(6): 35.  
NAN Zhengshi. Development of test trains on Shinkansen in Japan[J]. Foreign Rolling Stock, 2020(6): 35.
- [3] 马胜全, 闫福刚, 郭柏苍, 等. 基于人机工程理论的复兴号动车组驾驶室分析方法[J]. 机械设计与制造, 2020(7): 214.  
MA Shengquan, YAN Fugang, GUO Baicang, et al. Cab analysis method of Fuxing EMU based on ergonomics theory[J]. Machinery Design & Manufacture, 2020(7): 214.

(收稿日期: 2021-08-25)

(上接第10页)

- [2] MUÑOZ-PANIAGUA J, GARCÍA J, CRESPO A. Genetically aerodynamic optimization of the nose shape of a high-speed train entering a tunnel[J]. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 2014, 130: 48.
- [3] HEINE C, MATSCHKE G. The influence of the nose shape of high speed trains on the aerodynamic coefficients[C]// WRCC. Proceeding of The World Congress of Railway Research WCR, Köln, Germany: DB AG, 2001.
- [4] KWAK M, YUN S, LEE Y, et al. Optimum nose shape of a front-rear symmetric train for the reduction of the total aerodynamic drag[J]. Journal of Mechanical Science & Technology, 2013, 27(12): 3733.
- [5] SUZUKI M, NAKADE K, IDO A. Countermeasures for reducing unsteady aerodynamic force acting on high-speed train in tunnel by use of modifications of train shapes[J]. Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, 2009, 2(1): 1.

- [6] 田红旗, 周丹, 许平. 列车空气动力性能与流线型头部外形[J]. 中国铁道科学, 2006(3): 47.  
TIAN Hongqi, ZHOU Dan, XU Ping. Aerodynamic performance and streamlined head shape of train[J]. China Railway Science, 2006(3): 47.
- [7] 梁习锋, 张健. 工业造型和空气动力学在流线型列车外形设计中的应用[J]. 铁道车辆, 2002(7): 5.  
LIANG Xifeng, ZHANG Jian. Application of industrial visual design and aerodynamics in streamlined train contour design[J]. Rolling Stock, 2002(7): 5.
- [8] 向泽锐, 支锦亦, 王超, 等. 轨道列车工业设计方法与实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.  
XIANG Zerui, ZHI Jinyi, WANG Chao, et al. Design methods and examples of railway train industry[M]. Beijing: China Machine Press, 2020.

(收稿日期: 2021-09-28)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821