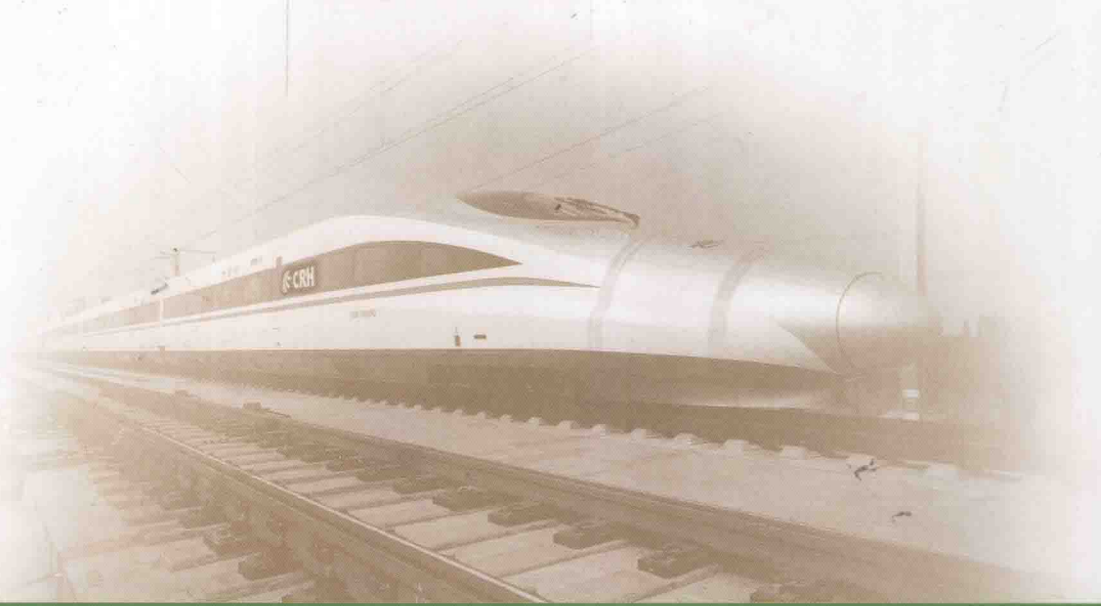


中国铁道科学研究院  
铁道科学技术研究发展中心  
学术论文集  
(2008-2010)



**中国铁道科学研究院  
铁道科学技术研究发展中心  
学术论文集(2008—2010)**

**中 国 铁 道 出 版 社**

2011年·北 京

### 图书在版编目(CIP)数据

中国铁道科学研究院铁道科学技术研究发展中心  
学术论文集:2008~2010/《中国铁道科学研究院铁道科  
学技术研究发展中心学术论文集:2008~2010》编委会  
编.—北京:中国铁道出版社,2011.5  
ISBN 978-7-113-12919-4

I. ①中… II. ①中… III. ①铁路工程-学术会  
议-文集 IV. ①U2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 074977 号

书 名:中国铁道科学研究院铁道科学技术研究发展中心学术论文集(2008—2010)  
作 者:本书编委会 编

---

责任编辑:刘 钢 熊安春  
封面设计:冯龙彬  
责任印制:陆 宁

---

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)  
网 址:<http://www.tdpress.com>  
印 刷:北京鑫正大印刷有限公司  
版 次:2011年5月第1版 2011年5月第1次印刷  
开 本:880mm×1230mm 1/16 印张:16.5 字数:498千  
书 号:ISBN 978-7-113-12919-4  
定 价:80.00元

---

#### 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

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

## **编辑委员会**

主任：白 鑫

主 编：刘卫华

编辑组：阳建鸣 杨宁清 吴 彬 刘文兰 刘 鉴

# 序 言

中国铁道科学研究院铁道科学技术研究发展中心自 2002 年 1 月 21 日成立以来,围绕既有线提速、高速、重载、安全和信息化等铁路科技重点领域。大力开展应用基础理论研究,牵头组织开展重大综合试验和联调联试,积极开展铁路安全评估技术研究,高质量完成各项行业服务任务,在推进铁路现代化建设进程中发挥了重要作用。成立 9 年来,共承担国家和铁道部、院科研项目 162 项,取得 49 项科研成果,获国家科学技术奖、中国铁道学会科技进步奖和院科学技术奖 16 项,出版有影响的专著 7 部,在基础性、前瞻性、系统性科学研究方面取得了丰硕的成果。本论文集收集的论文,是在近两年来所取得科研成果的基础上总结升华而成,展示了研发中心员工的真知灼见。

本论文集收集了研发中心在 2009 年 1 月和 2010 年 2 月举行的第一届、第二届学术论  
文报告会上的论文,中国铁道科学研究院 60 周年论文集中的论文,以及入选第九届国际  
重载运输大会及第七届世界高速铁路大会的交流论文,共计 50 篇,分为 5 个技术领域。  
编辑委员会在尊重作者原创的基础上,进行了审阅及修改。由于时间紧迫,在编校过程中  
难免会出现错误,敬请读者谅解。本论文集的编辑者付出了辛勤的劳动,向他们表示衷心  
的感谢。今后,我们还将在科研积累的基础上适时对学术论文进行收集和编印。

铁道科学技术研究发展中心学术委员会主任

王俊彪

2011 年 1 月 21 日

# 目 录

## 一、高速铁路及客运专线

1. 中国高速铁路技术综合试验研究 ..... 王 澜 (3)
2. 武广高速铁路联调联试及运行试验的组织与实践 ..... 白 鑫,魏亚辉,陈 源 (9)
3. 高速铁路系统集成中的接口管理 ..... 吕忠扬,姚建伟,程 远,侯卫星 (13)
4. 高速铁路桥上轨道不平顺敏感波长研究 ..... 高芒芒,许兆军,刘秀波 (18)
5. 某客运专线高架候车厅振动仿真研究 ..... 高芒芒,熊建珍,马 莉 (24)
6. 客运专线道岔动态轨距优化技术的仿真研究 ..... 孙加林,宣 言,王树国 (30)
7. 客运专线铁路几何行车动力学研究 ..... 吴敬朴,宣 言,万 家 (34)
8. 客运专线钢轨打磨技术的探讨 ..... 王卫东 (38)
9. 侧风对京沪高速铁路行车安全的影响 ..... 侯福国 (41)
10. 客运专线综合维修体系结构设计 ..... 王 峰 (45)
11. 动车组能耗计算与分析——以广深客运专线为例 ..... 薛艳冰,王 烈,马大炜 (49)
12. 采用面向服务的体系结构(SOA)构建客运专线运营调度系统 ..... 王小铁 (53)

## 二、重载技术

1. 基于 ALE 有限元重载车轮磨耗的数值研究 ..... 常崇义,王成国,陈 波,李 兰 (61)
2. 大秦线 2 万 t 重载组合列车纵向动力学仿真计算研究及验证 ..... 赵 鑫,康 熊,王成国,马大炜 (70)
3. 大秦线不同机车混编的 2 万 t 组合列车运营安全性仿真研究 ..... 赵 鑫,康 熊,王成国,马大炜 (76)
4. 大秦线轮轨磨耗对车辆曲线通过性能的影响分析 ..... 陈 波 (81)
5. 重载轮轨接触应力状态的有限元分析 ..... 李兰,周清跃,王成国 (88)
6. 轮轨匹配对重载货车稳定性的影响研究 ..... 侯茂锐,陈 波,王成国 (97)
7. 30 t 轴重货车对轨道结构动力作用影响的仿真研究 ..... 孙加林,宣 言,万 家 (103)
8. 重载货车车轮 45 min 坡道制动功率限值研究 ..... 李晓宇,习年生 (106)

## 三、安全技术

1. 高速铁路运营安全风险控制技术的研究 ..... 戴贤春,刘敬辉,郭 湛 (113)
2. 基于 EN50129 的高速铁路信号系统安全评估技术 ..... 王 阳,戴贤春,郭 湛,刘敬辉 (117)
3. CTCS-3 级列控系统安全评估技术及方法应用研究 ..... 王 阳,戴贤春,郭 湛,刘敬辉 (123)
4. 客运专线综合防灾安全监控仿真系统设计与开发 ..... 张洪宇 (130)
5. 基于故障树和事件树的铁路平交道口安全评价 Bow-Tie 模型研究 ..... 郭 湛,刘敬辉,戴贤春,王 阳 (134)
6. 重庆地铁六号线一期工程安全预评价综述及方法创新研究 ..... 郭 湛 (139)
7. 企业网络信息安全的探讨 ..... 张东升,张效军 (144)

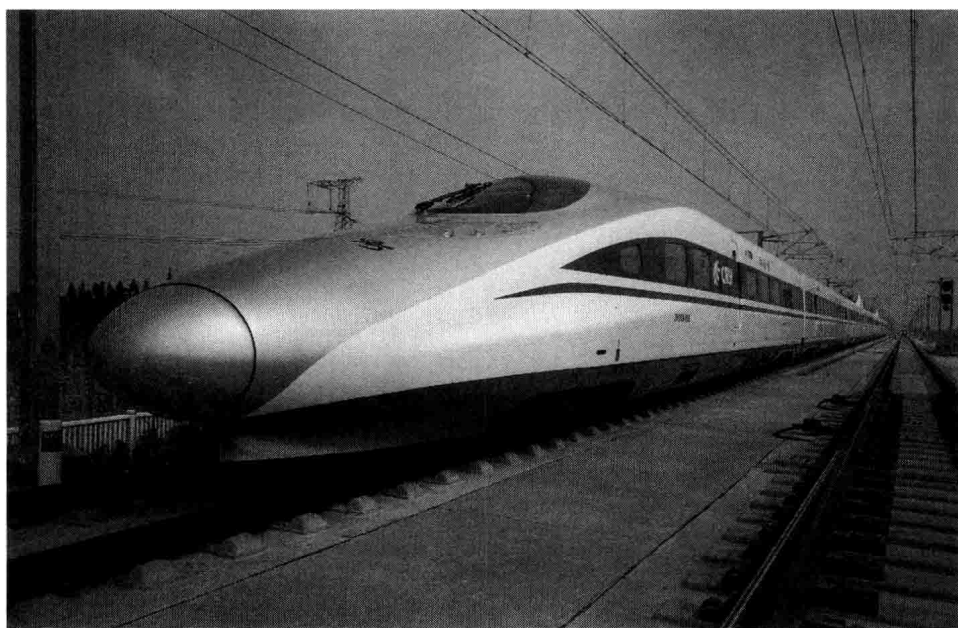
#### 四、基础理论与仿真

1. 基于 ALE 有限元的轮轨稳态滚动接触分析 ..... 常崇义,王成国 (149)
2. 中国铁道列车纵向动力学的应用 ..... 马大炜,王成国 (156)
3. 大跨度桥梁的风—车—桥耦合振动分析研究 ..... 高芒芒,熊建珍,白玲 (161)
4. 提速线大跨度铁路梁式桥自振频率限值的研究 ..... 白玲,高芒芒,方兴 (168)
5. 砗下弹性垫层对大跨度桥梁及轨道结构的振动影响分析 ..... 熊建珍,高芒芒 (170)
6. 无砗轨道桥梁梁端变形对扣件影响的室内试验研究和数值仿真  
分析 ..... 魏亚辉,徐鹤寿,牛斌 (176)
7. NUCARS 双层轨道模型概述 ..... 吴敬朴 (182)
8. 75 kg/m 钢轨用轨撑对轨道强化的分析研究 ..... 马莉,王澜,宣言,张建峰 (184)
9. 地铁振动对地面建筑物的影响分析 ..... 马莉,宣言,马筠,孙成龙 (190)
10. 钢轨滚动接触疲劳伤损类型的预测评价研究 ..... 习年生,李晓宇,常崇义,周清跃,刘丰收 (194)
11. 120 km/h 提速货车车轮踏面伤损规律 ..... 李晓宇,习年生 (196)
12. 基于灰预测模型的一种强风预测方法 ..... 胥红敏,穆思生,张洪宇,戴贤春 (199)

#### 五、运输经济及管理

1. 基于现代服务理念的高新技术服务定价研究——以客运专线联调  
联试定价为例 ..... 王澜,白鑫,王烈 (205)
2. 我国铁路主要技术装备的发展与设想 ..... 王俊彪 (210)
3. 国家工程实验室核心竞争力评价与培育分析 ..... 王俊彪,徐上,王烈,张鹏 (214)
4. 铁路运输可持续发展分析与评价系统研究 ..... 薛艳冰 (220)
5. 基于铁路多元融资的关联交易价格研究 ..... 王烈 (223)
6. 铁路技术进步对国民经济贡献研究 ..... 王烈 (228)
7. 关于生产安全与经济效益之间关系的讨论 ..... 王烈,王昊 (233)
8. 中国铁路高新技术应用对社会经济影响问题初步研究 ..... 王烈,任民,刘戒骄 (238)
9. 高速列车技术创新服务平台运行机制的探讨 ..... 范今,王俊彪,林峰 (244)
10. 高速铁路系统试验国家工程实验室建设过程中若干问题的思考 ..... 杨卓然 (247)
11. 高速铁路系统试验国家工程实验室质量管理体系方案设计 ..... 林峰,王俊彪,范今 (252)

# 一、高速铁路及客运专线



中国铁道科学研究院  
CHINA ACADEMY OF RAILWAY SCIENCES

铁道科学技术研究发展中心  
学术论文集(2008—2010)





# 中国高速铁路技术综合试验研究

王 澜

(中国铁道科学研究院, 北京 100081)

**摘 要:**高速铁路综合试验是对高速铁路技术进行系统验证,检验技术创新成果的主要途径,可为高速铁路技术再创新提供基础,为高速铁路相关技术标准的制定与完善提供科学依据,为高速铁路的建设和运营提供技术支持。本文以武广高速铁路综合试验为例,对中国高速铁路技术综合试验研究的目的与必要性、综合试验的范畴、综合试验的手段与方法进行阐述,针对武广高速铁路综合试验对中国高速铁路技术发展的贡献进行详细的论述。

**关键词:**高速铁路;试验研究;综合试验

中国高速铁路技术试验研究除既有线六次大面积提速综合试验<sup>[1]</sup>的技术积累外,从90年代末期开始经历了十多年的历程<sup>[2,3]</sup>,2006年进行了遂渝线无砟轨道试验段综合试验<sup>[4]</sup>,2008年开展了京津城际高速铁路综合试验<sup>[5]</sup>,2009年1月至2009年12月,结合武广高速铁路建设又进行了为期1年的大规模综合试验。武广高速铁路综合试验涉及领域多、专业全,最高试验速度达到394.2 km/h,是迄今为止中国高速铁路技术规模最大的一次综合性试验研究工程。本文以武广高速铁路综合试验为例,对中国高速铁路技术在综合试验研究方面所开展的工作及其对高速铁路技术发展的贡献进行介绍。

## 1 武广高速铁路综合试验概况

武广高速铁路位于湖北、湖南、广东三省境内,自武汉枢纽武汉站引出,终于广州枢纽内新广州站。运营里程1 068 km,设计时速350 km,线间距5.0 m;一般最小曲线半径 7 000 m;困难区段最大坡度20‰;到发线有效长度650 m。

武广高速铁路武汉综合试验段位于武汉市至咸宁市间,北起跨沪蓉高速特大桥广州台尾,南至新咸宁站南端,全长62.160 km。综合试验段范围内共有桥梁30座,总延长30.391 km,占试验段全长的48.9%;路基长度31.764 km,占全长的51.1%;车站2座。试验段内轨道类型有Rheda2000双块式无砟轨道和再创新的双块式、单元板式、纵连板式无砟轨道,以及道岔区轨枕埋入式等5种类型。

2009年1月至2009年12月,铁道部组织国

内相关单位在武广高速铁路上对高速铁路亟需解决的问题,开展了工务工程、CTCS-3级列控系统、动车组和接触网及受电弓等综合试验和专项科研试验。

## 2 综合试验的目的与必要性

通过实车综合试验,系统评价350 km/h运行条件下固定设施、移动装备的匹配性和适用性,对中国高速铁路系统技术进行验证,为中国高速铁路相关技术标准、施工规范及验收标准的制定与完善提供科学依据。

检验无砟轨道技术再创新成果,验证高速运行条件下CTCS-3级列控系统的整体功能、性能和接口关系,优化车载设备的电磁兼容性能、综合接地系统性能和供变电系统性能,评价动车组高速运行的安全性、平稳性、舒适性和弓网适应性。

为完善350 km/h高速铁路技术体系,保障武广高速铁路的顺利开通,并为其他高速铁路的建设和运营提供技术支持。

为基础性研究积累数据,深化、提升中国高速铁路轮轨关系、弓网关系、空气动力学、机电耦合等基础理论,为高速铁路技术再创新提供基础。

## 3 综合试验的范畴

### 3.1 工务工程综合试验

武广高速铁路工务工程综合试验包括:高速铁路轨道结构动力性能、弹性垫板刚度、高速道岔动力性能、路基及过渡段动力性能、桥梁动力性能、隧道气动效应、车体偏移量与人体安全退避距离、高速列车通过车站站台、长沙南站高架候车厅

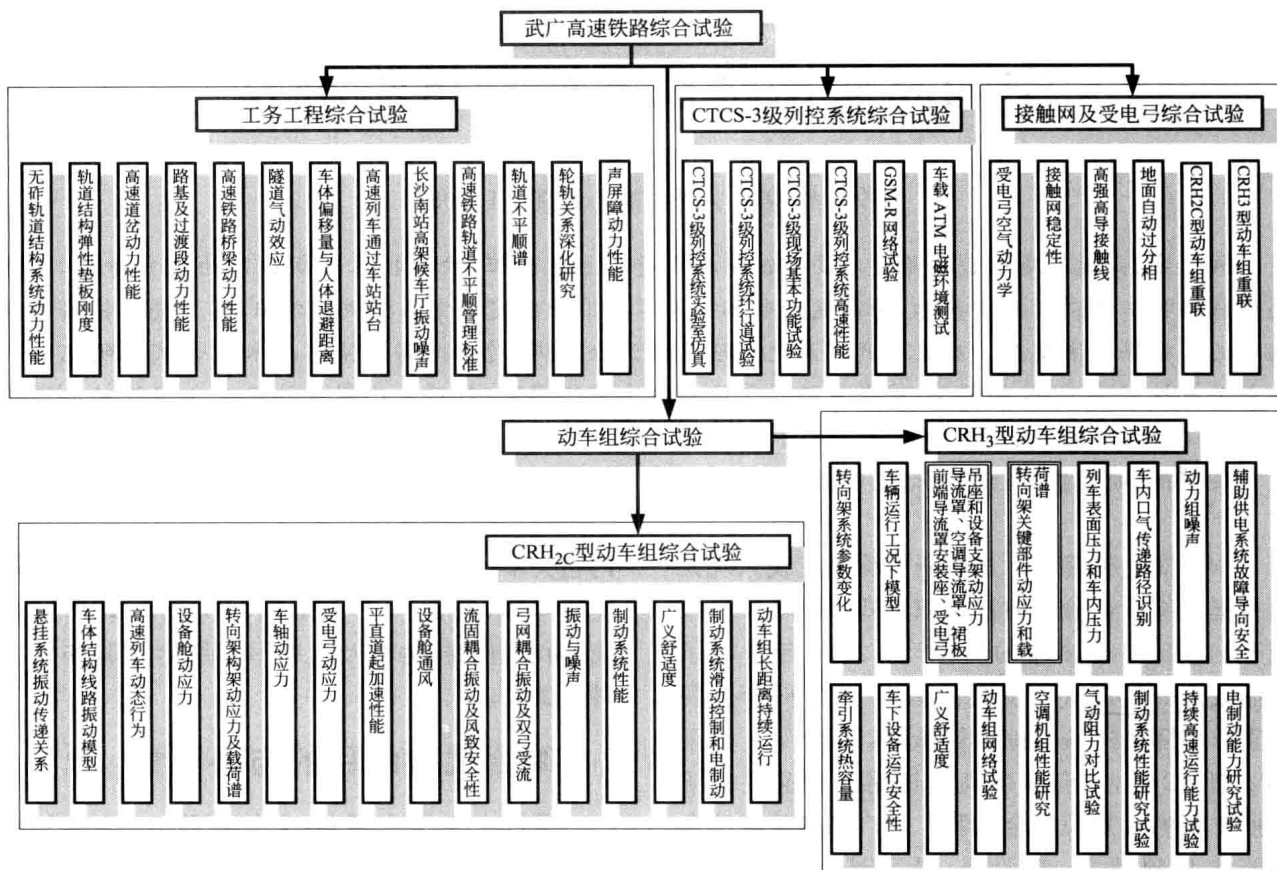


图1 武广高速铁路综合试验范畴

振动噪声、高速铁路轨道不平顺管理标准、轨道不平顺谱、轮轨关系深化研究、声屏障动力性能等。上述试验成果为完善中国高速铁路工务工程领域相关技术标准、规范及验收评价标准提供了基础数据和科学依据,为进一步完善中国高速铁路技术体系起到了重要作用。

### 3.2 CTCS-3级列控系统综合试验

武广高速铁路CTCS-3级列控系统综合试验经历了实验室测试,环行道试验,CTCS-3级列控系统现场基本功能试验,CTCS-3级列控系统高速性能试验,GSM-R网络试验,车载ATP电磁环境测试等。高速铁路CTCS-3级列控系统综合试验以系统功能验证试验为主,全部覆盖了《高速铁路CTCS-3级列控系统测试案例》中确定的373个测试案例。通过综合试验,为CTCS-3级列控系统软硬件设备开发、系统集成方案优化、系统标准的制定以及系统评估等工作提供科学支持,为实现CTCS-3级列控系统集成创新,建立中国CTCS-3级列控系统技术体系提供保障。

### 3.3 接触网及受电弓综合试验

武广高速铁路接触网及受电弓综合试验包

括:受电弓空气动力学试验、接触网稳定性试验、高强高导接触线试验、地面自动过分相试验、CRH<sub>2C</sub>型动车组双列重联弓网受流性能试验、CRH<sub>3</sub>型动车组双列重联弓网受流性能试验等。为了使CRH<sub>2C</sub>型和CRH<sub>3</sub>型重联动车组满足武广高速铁路350 km/h重联运营要求,试验中调整和优化了动车组受电弓的空气动力学性能,保证了武广高速铁路接触网与动车组受电弓具有良好的弓网适应性。

### 3.4 动车组综合试验

武广动车组综合试验包括CRH<sub>2C</sub>型动车组综合试验和CRH<sub>3</sub>型动车组综合试验。CRH<sub>2C</sub>型动车组综合试验涵盖了悬挂系统振动传递关系、车体结构线路振动模态、高速列车动态行为、设备舱动应力、转向架构架动应力及载荷谱、车轴动应力、受电弓动应力、平直道起加速性能、设备舱通风、流固耦合振动及风致安全性、弓网耦合振动及双弓受流、振动与噪声、制动系统性能、广义舒适度、制动系统滑行控制和电制动、动车组长距离持续运行等16项内容;CRH<sub>3</sub>型动车组综合试验涵盖了转向架系统参数变化、车辆运行工况



下模式、前端导流罩安装座—受电弓导流罩—空  
调导流罩—裙板吊座和设备支架动应力、转向架  
关键部件动应力和载荷谱、列车表面压力和车内  
压力、车内噪声传递路径识别、动车组噪声、辅助  
供电系统故障导向安全、牵引系统热容量、车下  
设备运行安全性、广义舒适度、动车组网络试验、  
空调机组性能研究、气动阻力对比试验、制动系  
统性能研究试验、持续高速运行能力试验、电制  
动力能试验等 17 项内容；此外，武广动车组综  
合试验还研究了高速列车长大线上连续运行的  
动态行为。通过这些试验取得了大量试验数据，  
为丰富高速列车相关理论、完善试验标准积累  
了宝贵经验。

## 4 综合试验的手段与方法

### 4.1 广泛采用现代测试技术

采用移动检测设备与地面测试设备相结合、  
室内试验与现场试验相结合、仿真与在线试验  
相结合的方法。采用光纤传感器、传感器网络、  
激光测试、雷达测试、微波测试、图像识别、  
系统辨识等先进的测试技术和手段；采用先进  
的数字化、网络化测试系统，将测点数据进行  
自动触发、自动采集、无线传输，并集中处理、  
统一分析、自动判别；采用信令分析仪、传输  
性能测试仪、频谱分析仪、倍频程分析仪、电  
能质量仪等多种先进的数字化仪器仪表以及虚  
拟仪器。

### 4.2 装备高速综合检测列车

采用高速综合检测列车和试验动车组对轨  
道、接触网、通信、信号等基础设施进行综合  
检测。车上装备有惯性基准平台和激光测量装  
置、GPS 精确定位的轨道几何状态检测系统，  
采用接触力测量、接触网导线平顺性测量和图  
像采集与识别装置的接触网状态和弓网受流  
性能检测系统，钢轨牵引回流非接触在线测量  
系统，采用感应式轨道电路信号检测、非接触  
式应答器报文识别、基于坡印亭电磁场理论的  
补偿电容检测系统的地面信号设备检测系统，  
基于应变集电式的轮轨力检测系统，GSM-R  
综合数字无线通信测试系统以及具备全车时空  
同步定位、网络和视频监控、综合数据处理功  
能的综合系统。最高检测速度达到 350 km/h。

## 5 综合试验所取得的主要成果

### 5.1 工务工程

通过车—线—桥—路路基综合动力学试验研

究，验证了无砟轨道技术再创新成果，包括无  
砟轨道设计理论和设计方法、关键设计参数、  
结构设计等。对具有自主知识产权的首次用于  
无砟轨道的 350 km/h 国产高速道岔、钢轨伸  
缩调节器以及扣件系统进行了实车试验研究，  
验证了其 350 km/h 高速列车通过的安全性、  
平稳性。针对不同无砟轨道结构型式下路基  
基础，提出了临界体积剪应变的控制标准，针  
对不同路基结构、无砟轨道型式及填料性质，  
提出了路基动应力和动变形的限值。通过实车  
测试，验证了岩溶加固区路基的动力稳定性。  
对铺设不同无砟轨道结构形式桥梁的动力性  
能进行了分析，研究了动车组高速通过不同  
无砟轨道结构形式桥梁时的动力响应特性。对  
世界上最大跨度无砟轨道钢箱系杆拱桥、结构  
新颖的 112 m 尼尔森体系提篮系杆拱桥在动  
车组高速通过时的动力响应进行了试验，试验  
结果可以为同类桥型的设计和应用提供参考。

通过测试动车组通过隧道或隧道内交会时  
列车表面及车厢内部空气压力变化、车内噪  
声水平和声场分布及频率特征、隧道洞口微  
气压波、洞内附属设施表面压力、隧道内列  
车风速和隧道内惰行情况下的速度曲线等，  
首次验证了动车组高速通过隧道和隧道内  
交会的运行安全性和人体舒适性，确定了列  
车通过隧道的速度，论证了隧道洞口缓冲结  
构设置依据，探讨了附属坑道对瞬变压力和  
微气压波的影响以及气动荷载的交变作用对  
隧道内附属设施产生的影响，为完善动车组  
通过隧道时附加阻力的计算方法和计算参数  
积累了数据；为进一步完善气压变化环境下  
人体舒适性评价标准、列车气密性标准和洞  
口微气压波标准提供了依据。

通过新长沙站高架车站振动试验，探讨了  
高架候车厅和站台层振动传播规律；通过高  
速列车通过时的高架候车厅内声场、混响时  
间以及站台层辐射噪声和混响时间测试，掌  
握了高架候车厅和站台层噪声分布与影响规  
律；为结构二次辐射噪声的仿真分析和高架  
候车厅声场仿真分析提供了验证数据，为高  
架车站和高架候车厅减振降噪技术措施仿真  
研究奠定了基础，为准确预测京沪高速铁路  
南京南站、济南西站高架候车厅振动噪声  
影响状况提供了参考依据。

轨道不平顺管理标准试验研究，通过选取  
和现场设置典型的轨道不平顺，开展轨道不  
平顺的

动静态检测、动车组动力响应和轨道动力响应测试,验证和完善了高速铁路 300~350 km/h 动静态轨道不平顺容许偏差标准。

通过无砟轨道钢轨垂向位移、轮轨垂直力、钢轨支点压力、钢轨轨头动态横移和动态轨距变化量等轨道刚度以及动车组动力响应试验测试,对无砟轨道刚度控制指标进行了深入研究,结合仿真分析,提出了弹性垫板刚度的控制指标,为高速铁路无砟轨道技术发展提供了科学依据。

高速列车通过车站站台试验测试了 CRH<sub>2C</sub> 型和 CRH<sub>3</sub> 型动车组以不同速度通过车站站台时的车体动态偏移量、人体承受的气动力和列车风风速等,为在确保列车高速通过站台时列车、旅客安全条件下制定有关站台限界和人员安全退避距离的规定提供了依据。

结合武广高速铁路综合试验,获取了大量高速铁路轨道不平顺实测数据,研究了高速铁路轨道不平顺管理波长范围,确定了高速铁路轨道不平顺有关项目的敏感波长、管理基长及容许偏差管理值,分析了路基和桥上轨道不平顺特征,提出了武广高速铁路双块式无砟轨道结构轨道不平顺谱。

通过在武广高速铁路进行 CRH<sub>2C</sub> 型、CRH<sub>3</sub> 型动车组动力学性能试验,测试 CRH<sub>2C</sub> 型、CRH<sub>3</sub> 型动车组在武广高速铁路上的运行安全性、平稳性,从动力学角度探讨了不同车型、不同轨道结构形式的轮轨关系。

通过武广高速铁路声屏障列车气动力及声屏障的动力响应测试,探明了桥梁宽度的变化、声屏障高度对声屏障降噪效果的影响,掌握了高速列车运行气动力沿线路方向与沿声屏障高度方向的变化规律,包括声屏障立柱与单元板不同高度处的应力幅值、位移以及声屏障结构的固有频率,为优化声屏障设计提供了基础资料。

## 5.2 CTCS-3 级列控系统

武广线 CTCS-3 级列控系统功能试验验证了不同运行速度和不同运营条件下列控系统的各项功能,包括注册与启动、注销、行车许可、行车许可调整、临时限速、等级转换、RBC 切换、自动过分相、降级运行、调车作业、重联与摘解、特殊进路、人工解锁进路等功能等。CTCS-3 级列控系统功能试验覆盖了 CTCS-3 级列控系统的 14 个运营场景,470 个测试案例。

列控系统实验仿真测试在 CTCS-3 级列控系统仿真实验室对现场测试案例全部进行了验证,覆盖 301 个测试案例。

列控系统性能试验与运行试验结合动车组高速功能试验和专项运行试验,对车载设备应答器报文接收质量、机车信号接收质量、列控系统部分关键参数、列控系统车载设备 EMC 特性、系统故障安全性能、系统高速运行的可靠性与稳定性等进行了验证。

GSM-R 网络试验,在 CTCS-3 级列控系统试验前,通过 GSM-R 网络电磁环境、场强覆盖、服务质量 QOS 的测试,调整和优化了 GSM-R 网络环境,验证了 GSM-R 承载 CTCS-3 列控业务性能、GSM-R 网络相关参数、GSM-R 承载 CTCS-3 列控业务的可靠性等。

车载 ATP 电磁环境测试对不同运行工况条件下(正常运行、发车启机、升降弓、开关空调等)CTCS-3 车载设备信号电缆上的共模电磁干扰和动车组车内电磁环境电平进行了测试,电磁干扰测试选择在 ATP 系统连接的各种传感器和天线电缆近端口端进行测试,包括 BTM 天线端口、STM 天线端口、速度传感器端口、ATP 系统的 X1 电缆等。

武广高速铁路 CTCS-3 级列控系统案例测试结果表明,该系统满足《CTCS-3 级列控系统总体技术方案》、《CTCS-3 级列控系统功能需求规范(FRS)(V1.0)》、《CTCS-3 级列控系统系统需求规范(SRS)(V1.0)》要求,其系统的功能和性能满足运营安全要求。综合试验创新了系统仿真测试技术,创建了系统仿真平台,实现了实物接口、仿真模型、测试脚本的自动化仿真测试。创新了综合试验技术,形成了完善的测试规范、测试序列和案例。

## 5.3 接触网及受电弓系统

通过对 CRH<sub>2C</sub> 型动车组受电弓进行空气动力学测试,调整了受电弓导流板的位置和角度,优化了受电弓受流性能,以保证弓网受流性能满足运行要求。

通过单列、双列重联试验动车组在不同区段(隧道、桥梁、明线区间)运行时的弓网受流性能、定位点的抬升量和振动,验证了接触网导线动态抬升量、导线应变、振动频率和波动传播规律,掌握了接触网的稳定性能、各类型支柱及接触网

悬挂结构横向振动响应规律,分析验证了结构设计的风振效应。

通过测试单列、双列重联试验动车组在强度高导接触线区段的弓网受流性能,包括弓网动态接触力、离线(火花)、硬点(受电弓所受的垂向加速度)、接触线动态高度和受电弓运行状态图像监视等,评价了动车组的弓网适应性。

地面自动过分相试验主要验证地面自动过分相装置的可靠性,及其对 CRH<sub>2C</sub>型和 CRH<sub>3</sub>型动车组的适应性。

动车组重联试验验证了 CRH<sub>2C</sub>型和 CRH<sub>3</sub>型动车组重联时受电弓与接触网的受流性能满足相关标准要求。

通过测量高速列车弓网振动特性,研究了弹性悬挂接触网的受电弓—接触网系统的耦合动态特性,掌握了弓网相互作用的动态过程,研究了接触线不平顺对受流的影响,掌握了高速受电弓的服役环境,为高速受电弓的评价和改进设计提供了数据支撑。

#### 5.4 动车组系统

##### (1) CRH<sub>2C</sub>型动车组

悬挂系统振动传递关系试验比较了空气弹簧节流孔径对车辆平稳性、舒适度的影响,掌握了悬挂系统振动加速度传递关系,为京沪新一代高速转向架研发提供了设计依据。

通过高速列车动态行为试验,掌握了高速列车整体动态行为、高速列车振动传递规律、列车车体变形特性和高速列车振动模态。通过测试动车组各主要零部件的振动响应,掌握了各关键部件的振动平稳度、各零部件之间的振动传递规律、零部件不同结构特征与高速列车动态行为之间的内在联系。通过轮轨力的测试为轮轨磨耗和动力学性能研究提供了基本试验数据。通过测试动车组在线路运行工况下的振动模态,分析了振动模态与动力学性能和强度之间的关系。

通过设备舱底板、裙板及骨架的动应力、振动频谱以及承受的气动载荷测量,评估了设备舱改进结构性能,并为设备舱的强度评估提供了计算方法和边界条件。

通过对 CRH<sub>2C</sub>型动车组动车和拖车转向架进行构架动应力与载荷谱的线路实测,了解了 CRH<sub>2C</sub>型动车组转向架动应力和动载荷的特征,对动车转向架和拖车转向架运行疲劳可靠性进行

了评价,采用损伤一致性准则编制出 CRH<sub>2C</sub>型动车组构架武广线的载荷谱,为制定与中国运用条件相符合的动车组强度规范和试验标准提供试验数据基础。

通过对 CRH<sub>2C</sub>型动车组动车车轴和拖车车轴进行动应力与载荷谱实测,掌握了 CRH<sub>2C</sub>型动车组动、拖车车轴动应力的特征,运行了疲劳可靠性评价,采用损伤一致型准则编制出 CRH<sub>2C</sub>型动车组车轴武广线的载荷谱,为制定与中国运用条件相符合的动车组车轴强度规范和试验标准提供了依据。

通过对 CRH<sub>2C</sub>型动车组受电弓进行动应力测试,了解了 CRH<sub>2C</sub>型动车组受电弓动应力的特征,对运行可靠性进行了评价,为受电弓结构的局部改进提供了数据。

测量转向架处裙板更换前后动车组在不同工况下的平直道起动加速能力,对比分析了裙板换装对动车组气动阻力的影响。

通过高速列车空气动力学试验,了解了列车受到的空气动力学作用参数和列车风对临近线路环境的气动作用,结合列车在各种运行条件下的运动姿态、动力学测试结果,获取了高速列车流固耦合动力学试验基础数据,掌握了不同列车类型和车辆位置的空气阻力和气动抬升力规律与特征,验证了风致振动和风致列车运行安全性。

通过动车组制动运行试验,检验了动车组制动系统改进方案的实施效果,为进一步改善动车组制动系统提供了依据。主要解决了以下问题:通过降低低速区段动车组各车制动缸压力,以达到部分抵消因低速时制动摩擦系数急剧上升,而造成低速时制动力过大而引起的冲动的低速制动冲动现象;适当提高 BCU 内部摩擦系数设定值,通过试验检验该 BCU 改进摩擦系数利用方案有效性;验证了两种复合制动时滑行控制改进方案的有效性。

通过测试振动、噪声、空气压力等高速列车广义舒适度指标,探讨了影响广义舒适度的因素,获取了影响广义舒适度的单因素与乘客舒适度主观评价的信息,为高速动车组广义舒适度的评价指标和评价方法的研究提供了数据支持。

通过制动系统滑行控制和电制动试验,验证了电制动滑行控制策略,同时研究测试了 CRH<sub>2C</sub>型动车组在纯电制动情况下的制动能力及制动

距离。

## (2) CRH<sub>3</sub> 型动车组专项试验

通过转向架系统参数变化研究试验,分析了加装二系垂向减振器对动力学性能的影响、空气弹簧失风对动力学性能的影响、抗蛇形油压减振器失效对动力学性能的影响、取消部分横向油压减振器对动力学性能的影响、不同的轮重均衡水平对轮重减载率影响和抗侧滚扭杆失效对动力学性能的影响。

通过对 CRH<sub>3</sub> 型动车组导流罩连接部位、裙板吊座、设备支架等的动应力和载荷进行线路实测,掌握了 CRH<sub>3</sub> 型动车组导流罩接部位、裙板吊座、设备支架等在振动与气动力载荷的动应力和载荷特征,对裙板吊座、设备支架等的可靠性进行了评价和确认。

通过对 CRH<sub>3</sub> 型动车组动车和拖车转向架进行构架动应力与载荷谱的线路实测,了解了 CRH<sub>3</sub> 型动车组动车和拖车转向架动应力和动载荷的特征,并对动车转向架和拖车转向架的疲劳可靠性进行了评价,采用损伤一致性准则编制出 CRH<sub>3</sub> 型动车组构架载荷谱,为制定与中国运用条件相符合的动车组强度规范和试验标准提供试验数据基础。

通过对 CRH<sub>3</sub> 型动车组的满级位高速运行,进行了牵引系统热容量研究,试验结果为新一代高速动车组的牵引系统方案研究提供试验数据支持。

辅助供电系统故障导向安全试验通过人为模拟相关故障,验证在本单元单、双辅助变流器单独或同时发生故障时,辅助系统的故障导向安全策略;在并联工作时的单、双辅助变流器部分单元故障停机时,CCU 及单、双辅助变流器的冗余响应动作逻辑。

通过动车组车下设备运行安全性试验,掌握了变流器箱体在实际工作环境中的振动和动态应力状况,尤其是当动车组高速运行时变流器箱体的振动状况,为优化变流器箱体设计奠定了基础。

通过空调机组性能试验研究,掌握列车高速运行对空调机组性能的影响,通过与车外压力数据的对比分析,掌握了不同速度下的空调机组的工作数据、空调机组工作的极限速度、不同环境温度对空调机组性能的影响、不同导流罩结构对空调机组参数的影响,为空调机组设计提供了理论数据。

通过气动阻力对比试验,对受电弓导流罩、限压电阻导流罩、空调导流罩、车间外风挡、转向架处的裙板、前端总成、开闭机构等导流部件进行了优化设计验证。

制动系统性能试验验证了备用制动系统的性能、制动系统防滑控制逻辑、复合制动时再生制动利用控制改进方案的有效性、故障导向安全功能和纯空气制动时基础制动装置的热容量。

通过持续高速运行能力试验,掌握了动车组牵引装置长时间满功率运行情况下牵引设备工作温度的变化规律、采用不同结构牵引冷却装置空气过滤器对牵引设备工作温度的影响、持续运行条件下的耐久性能、持续高速运行对空调机组性能的影响,以及冷凝风机罩板及导流罩对空调参数的影响。

通过 CRH<sub>3</sub> 型动车组制动系统电制动能力试验,验证了动车组在仅有电制动力作用时的制动能力、电制动力作用曲线及电制动力的补充模式。

通过动车组网络试验,检验了列车网络设备正常工作和故障状态下的网络通信性能;验证了列车无线传输系统性能;

通过车体振动模态和动车组动应力试验,获得了大量试验数据,为研发新一代高速动车组提供了数据支持。

## 6 结束语

武广高速铁路综合试验,开展了工务工程、CTCS-3 级列控系统、动车组、接触网及受电弓等综合科学试验,是首次进行的规模最大、功能最全、项目最多、涉及高速铁路各系统的综合试验。武广高速铁路综合试验在国际上首次验证了基于无线通信的 CTCS-3 级列控系统技术、动车组以时速 350 km 隧道内交会、时速 350 km 动车组重联运行等关键技术,取得的大量研究成果,对武广高速铁路的开通运营起到了重要的支撑作用,对新一代高速动车组研发具有重要的指导作用,为今后高速铁路的设计、施工、运营积累了数据和经验。

## 参考文献

- [1] 何华武. 中国铁路既有有线 200 km/h 等级提速技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007.
- [2] 何华武. 创新的中国高速铁路技术(下)[J]. 中国工程科学,

2007,9(10).

[3] 江成、林之珉. 高速铁路无砟轨道结构的试验研究[J]. 中国铁路, 2000(7).

[4] 胡新明. 遂渝线提速综合试验实施要点[J]. 铁道标准设计,

2006(增刊).

[5] 何华武. 京津城际铁路科技创新[J]. 中国铁路, 2009.

(注: 本论文为第7届世界高速铁路大会交流论文)

# 武广高速铁路联调联试及运行试验的组织与实践

白鑫, 魏亚辉, 陈源

(中国铁道科学研究院 铁道科学技术研究发展中心, 北京 100081)

**摘要:** 武广高速铁路是世界上第1条一次建成、线路总长超过1 000 km、运营时速达到350 km的高速铁路。本文概要性地介绍了武广高速铁路联调联试目的、内容,着重阐述了联调联试的方法手段、技术组织及实施等内容。武广高速铁路联调联试及运行试验为今后铁路联调联试工作提供了重要的借鉴和指导,也为我国系统集成和联调联试技术实施“走出去”战略奠定了重要的技术基础。

**关键词:** 高速铁路; 联调联试; 运行试验

高速铁路联调联试及运行试验是高速铁路建设的重要组成部分和运营准备的必要环节。在京津城际铁路成功实践的基础上,武广高速铁路联调联试及运行试验在试验内容、方法手段、技术组织及实施等方面取得了新的提升和一系列创新。本文对武广高速铁路在联调联试及运行试验方面开展的工作及其经验进行介绍。

## 1 武广高速铁路概况

武广高速铁路位于湖北、湖南、广东三省境内,自武汉枢纽武汉站引出,终于广州枢纽内新广州站。全线运营里程1 068 km,设计时速350 km,线间距5.0 m;一般最小曲线半径7 000 m;困难区段最大坡度20‰;到发线有效长度650 m。全线共有隧道226座,占线路总长19%,最长隧道10 080 m;桥梁684座,占线路总长的48%;全程设18个车站,15个为客运站,3个为越行站。

武广高速铁路是世界上第1条一次建成、线路总长超过1 000 km、运营时速达到350 km的高速铁路。在京津城际铁路成功实践基础上,武广高速铁路实现了时速350 km高速铁路成套技术的系统提升与创新,其特点主要表现在以下方面。

(1) 全程大规模铺设CRTS I型双块式无砟轨道。

(2) 世界上首次铺设桥上板式道岔,首次铺设国产18号无砟道岔和设计速度350 km/h的单向钢轨伸缩调节器。

(3) 接触网为弹性链型悬挂,时速350 km、采用双弓受流;首次采用镁铜(CTMH)150 mm<sup>2</sup>截面接触导线,接触线张力为30 kN;

(4) 采用基于GSM-R的CTCS-3级列控系统,实现车地双向信息传输,最小追踪间隔达到3 min。

与京津城际铁路相比,武广高速铁路在线路里程、隧道数量、地质条件、编组形式、受流方式、接触网、列控方式等方面都具有鲜明特点,详见表1。

表1 武广高速铁路与京津城际铁路比照表

	京津城际铁路	武广高速铁路
线路里程/(km)	120	1 068
隧道数量	无隧道	226座
地质条件	较为单一	更为复杂
编组形式	单列	双列重联
受流方式	单弓受流	双弓受流
接触网	简链悬挂	弹链悬挂
列控方式	CTCS-3D级	CTCS-3级

## 2 联调联试及运行试验的目的与内容

为了保证武广高速铁路能够顺利开通运营,铁道部组织国内相关单位开展了为期半年的联调联试和运行试验。武广高速铁路联调联试及运行试验时间长、领域多、专业全,重联动车组最高试验速度达到394.2 km/h,是迄今为止中国高速铁路规模最大的一次联调联试及运行试验。



武广高速铁路联调联试是在动车组高速运行状态下对全线各系统进行综合测试,评价供变电、接触网系统设计参数和设备选型的合理性;验证通信、信号、客服、防灾等系统的功能、性能、安全性;验证路基、轨道、道岔、桥梁、隧道等结构工程和振动噪声、电磁环境、综合接地等的安全性和适用性;检验各系统接口关系;对全线的各系统进行调试,优化各系统的状态和性能,为武广高速铁路顺利开通提供科学依据。

武广高速铁路运行试验主要通过运行图参数测试、故障模拟、应急救援演练、按图行车;用以检验各系统在正常与非正常条件下运输组织的适应性;验证行车组织方式能否满足运营要求;检验模拟设备故障和自然灾害条件下的应急处理能力;为完善科学合理的运输组织方案提供技术依据。

根据联调联试及运行试验大纲,武广高速铁路联调联试内容包括供变电系统、接触网系统、通信系统、信号系统、客运服务系统、综合接地系统、电磁兼容性、振动噪声及声屏障、路基及过渡段、轨道结构、道岔、桥梁、隧道内列车空气动力学、隧道内气动效应、防灾安全监控系统、动车组动力学性能和轨道几何状态等 17 个大项。运行试验主要进行了 17 个场景的故障模拟、7 个场景的应急演练和运行图参数测试工作。结合武广高速铁路联调联试,同期还进行了工务工程、CTCS-3 级列控系统、动车组、接触网及受电弓等多项科学试验。

### 3 联调联试及运行试验的方法与手段

武广高速铁路联调联试及运行试验采用移动检测设备与地面测试设备相结合、室内试验与现场试验相结合、仿真与在线试验相结合的手段,采用先进的测试技术和数字化、网络化测试系统,利用各类检测车、高速综合检测列车、试验动车组等先进的移动测试装备,以不同的速度对线路基础设施进行检验、验证。主要的测试内容及方法如下。

#### (1) 轨道几何状态检测

采用装备了由陀螺仪、磁电式加速度计组成的惯性基准平台、激光测量装置以及 GPS 精确定位系统的轨道检查车,对武广高速铁路分区段的轨道几何状态进行预检和日常规检测。检测速度 140~160 km/h。

#### (2) 接触网状态检测

采用装备了压电式弓网接触力测量系统、压电式接触网导线平顺性测量系统和图像采集与识别装置的接触网状态检查车,对武广高速铁路分区段的接触网状态进行预检和日常规检测。检测速度 140~160 km/h。

#### (3) 地面信号设备检测

采用装备了感应式轨道电路信号检测系统、非接触式应答器报文识别系统、基于坡印亭电磁场理论的补偿电容检测系统、GPS 精确定位的电务检查车,对武广高速铁路分区段的轨道电路、应答器、补偿电容、邻线干扰等进行预检和日常规检测。检测速度 140~160 km/h。

#### (4) 逐级提速综合测试

采用 0 号、CRH2-068C、CRH2-061C 等综合检测列车,对武广高速铁路各区段进行逐级提速综合测试,全面验证轨道、道岔、桥梁、隧道等线下工程和牵引供电、接触网、通信、信号以及动车组等各系统性能。综合检测列车装备有轨道几何状态检测系统、光学非接触式接触网几何参数测试系统、弓网受流性能测试系统、动力学性能测试系统、空气动力学测试系统、GSM-R 综合数字无线通信测试系统、地面信号设备检测系统以及具备全车时空同步定位、网络和视频监控、综合数据处理功能的综合系统,测试速度 350 km/h 及以上。

逐级提速综合测试时,地面同步进行路基及过渡段、轨道、道岔、桥梁、隧道、振动、噪声、牵引供电、接触网、综合接地和电磁兼容等实车运行条件下的测试。地面站前各系统测试大量采用了光纤传感器、传感器网络、激光测试、雷达测试、微波测试、图像识别、系统辨识等先进的测试技术和手段;采用先进的数字化、网络化测试系统,将地面测点数据进行自动触发、自动采集、无线传输,并集中处理,统一分析。通信、电磁兼容、综合接地、振动噪声等站后各系统测试中采用了信令分析仪器、传输性能测试仪、频谱分析仪、倍频程分析仪、电能质量仪等多种先进的数字化仪器仪表以及虚拟仪器。

#### (5) 信号系统测试

CTCS-3 级列控系统实验室仿真测试综合采用了包括列控中心 TCC、计算机联锁 IL、CTC (C2)、LEU、ZPW2000A、GSM-R 无线网络、单套 ATP、单套 RBC、STU-CC 等真实设备的测试环