



# 京沪高铁技术装备创新发展

何华武

中国工程院副院长

京沪高铁是世界上一次性建成里程最长、技术标准最高的时速350公里高速铁路，是贯通南北高铁网的主通道和东部高铁网的主动脉。作为我国高铁技术创新的集大成者，代表当今我国高铁建设和运营最高水平，集中展示了我国科技创新水平和综合国力，为打造我国高铁亮丽名片发挥了重要示范引领作用。

围绕京沪高铁建设运营需求，我国铁路坚定不移走具有中国特色的自主创新之路，大力推进关键技术攻关和成果转化应用，解决了一系列高铁建设运营技术难题，取得了一大批重大创新成果。京沪高铁工程荣获2015年度国家科学技术进步奖特等奖，奠定了我国高铁技术领跑地位。





01

01

# 京沪高铁 技术创新成就



经过长期科技攻关与京沪高铁建设运营实践，成功突破了高铁工程建设关键技术，研发应用了时速350公里复兴号动车组等一批自主化核心技术装备，系统构建了高铁试验验证技术体系，掌握并不断提升运营维护和安全保障成套技术，形成了完备的京沪高铁技术体系，引领我国大规模、高标准高铁网建设运营。

## 京沪高铁技术创新成就

工程建设技术

高速动车组技术

列控技术

运营维护技术

试验验证技术

安全保障技术

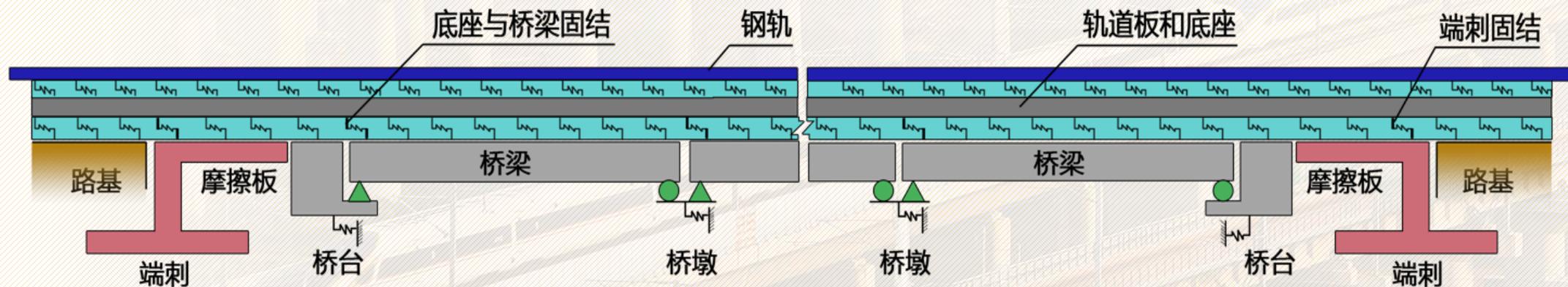


## (1) 轨道技术

创新了高速铁路超长高架桥无砟轨道无缝线路建造技术，建立了超长、大跨度桥梁无砟轨道无缝线路的计算理论与设计方法，首次实现在165km超长桥梁和180m大跨桥梁上铺设无砟轨道、无缝线路，解决了超长、大跨桥上桥梁-无砟轨道-无缝线路的变形协调性难题。



丹昆特大桥（全长164.851km）



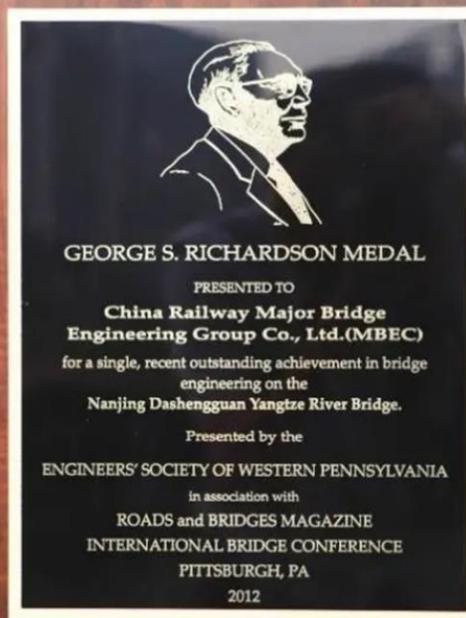
无缝线路计算分析模型



## (2) 桥梁技术

提出了高速铁路桥梁关键设计参数，构建了时速350km常用跨度简支梁制运架成套技术，梁体长期变形控制实现由厘米级至毫米级突破，在京沪应用超3万孔，占线路总长80%以上。

在大跨度钢桥设计参数、疲劳性能、材料及施工装备等领域取得系列突破，推动我国大跨度桥梁建造技术达到世界领先水平。大胜关长江大桥2012年获国际桥梁大会“乔治·理查德森”大奖、2015年获国际桥协“杰出结构工程奖”等国际桥梁界最高奖项。

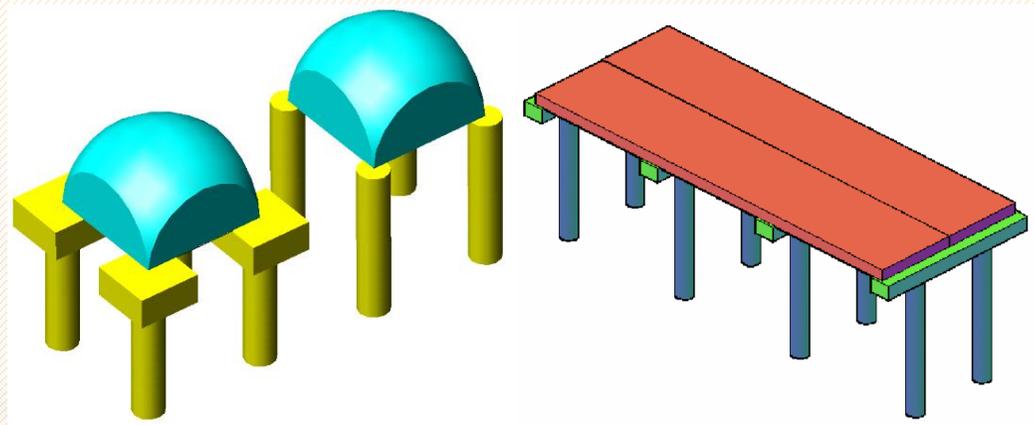




### (3) 路基技术

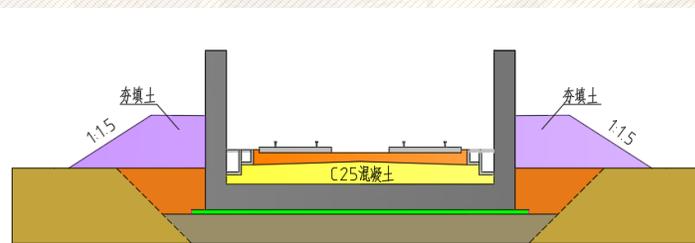
创新了复杂工程环境下高速铁路路基刚性桩复合地基成套技术。

- 针对路基地段地质条件复杂、沉降控制标准高、线状柔性荷载的特点，提出刚性桩加固地基和沉降控制设计方法；
- 研发埋入式U型结构、桩板、桩网、桩筏、载体桩等多种基础结构，解决各种环境条件下深厚软弱土地区无砟轨道路基工后沉降及动力稳定性技术难题；
- 提出调整桩型和设计参数控制变形的调平设计方法，解决铁路大型站场路基沉降协调控制技术难题。

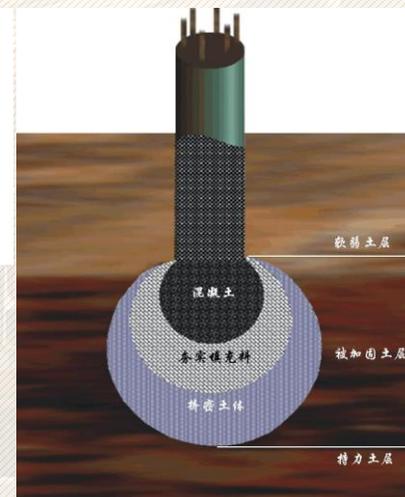


桩网

桩板



U型结构



载体桩

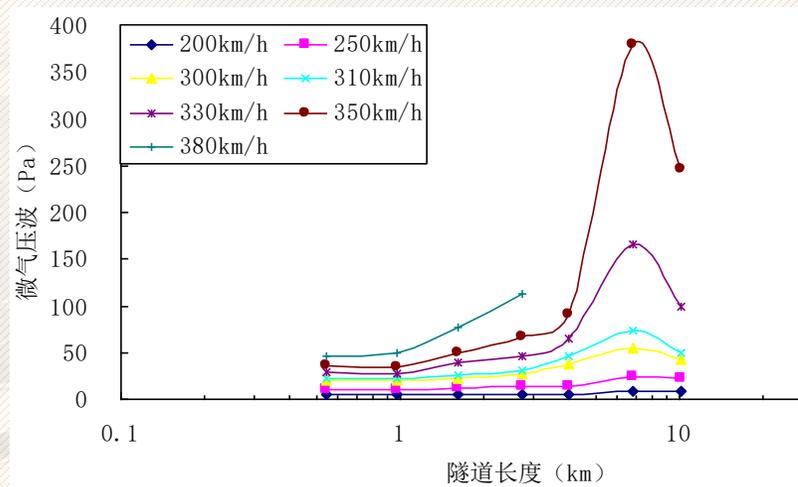


## (4) 隧道技术

京沪高铁在隧道设计中首次大量采用微气压波缓冲措施，包括斜切帽檐式洞门和斜切喇叭口式洞门，并设置空气动力学开孔，有效缓解列车通过隧道时产生的微气压波对周围环境的影响。



斜切喇叭口式洞门



不同速度条件下微气压波与隧道长度关系



斜切帽檐式洞门



## (5) 站房技术

京沪高铁沿线站房设计满足了大型铁路客站畅通融合、便捷高效的需求，体现了我国客运枢纽建设一流水平。

- 创新“站桥合一”高架结构，满足建筑使用空间要求，整体刚度好，抗震性能高；
- 采用大跨度屋面结构，高架候车厅空间通透明亮；
- 广泛应用节能新技术、新材料，采用高效节能及智能控制技术，墙体、屋顶选用新型材料。



北京南站站房剖面图



南京南站站房剖面图



上海虹桥站站房剖面图



自主研发最高运营时速350公里的系列高速动车组，形成时速350公里高速动车组技术标准体系，实现了从和谐号CRH380系列动车组到复兴号CR400系列动车组的技术升级。

### CRH380系列

陆续下线开展试验

2010年9月

### CRH380BL

京沪高铁首发

2011年6月

### CR400型8辆编组

350km/h运营

2017年9月

### CR400型17辆编组

投入运营

2019年1月

2010年12月

### CRH380A

先导段创造了486.1 km/h

2017年6月

### CR400型8辆编组

京沪高铁双向首发

2018年7月

### CR400型16辆编组

投入运营

2021年6月

### CR400智能动车组

投入运营



### (1) 和谐号CRH380系列动车组

为满足京沪高铁运输需求，研制了新一代时速350公里系列高速动车组。提出了高速列车耦合大系统动力学理论，建立了基于高速列车系统的设计、试验、检测与评估平台，提升了我国铁路装备制造业整体水平，实现了京沪高铁长距离、高速度持续稳定运营。

#### 突破了高速列车关键技术

- 提出了车-线-网-气流耦合的大系统动力学理论
- 搭建了600km/h高速列车运行模拟试验台
- 攻克了380km/h高速轮轨关键技术，转向架临界速度达到了550km/h
- 搭建了500km/h高速列车动模型试验台，优化了整车气动外形
- 解决了双弓稳定受流难题





## (2) 复兴号系列动车组

自2012年起，中国铁路瞄准高铁技术发展前沿，坚持自主创新，成功搭建了350公里复兴号动车组技术平台，解决了互联互通、零部件统型等技术难题，形成了8辆/16辆/17辆编组及智能型系列化复兴号产品，迈出了从追赶到领跑的关键一步。

### 主要创新成果：

- 全方位突破高速列车核心技术，全面掌控动车组各类控制软件源代码
- 打造高速列车设计和制造智能平台
- 创建高速列车全寿命周期智能运维体系
- 首创时速350公里高速列车技术标准体系和试验验证平台

### 与和谐号相比：

- 平稳性提升
- 噪声、阻力降低
- 能耗降低
- 整车服役寿命周期延长
- 维修间隔延长

技术指标先进

安全保障全面

节能绿色环保

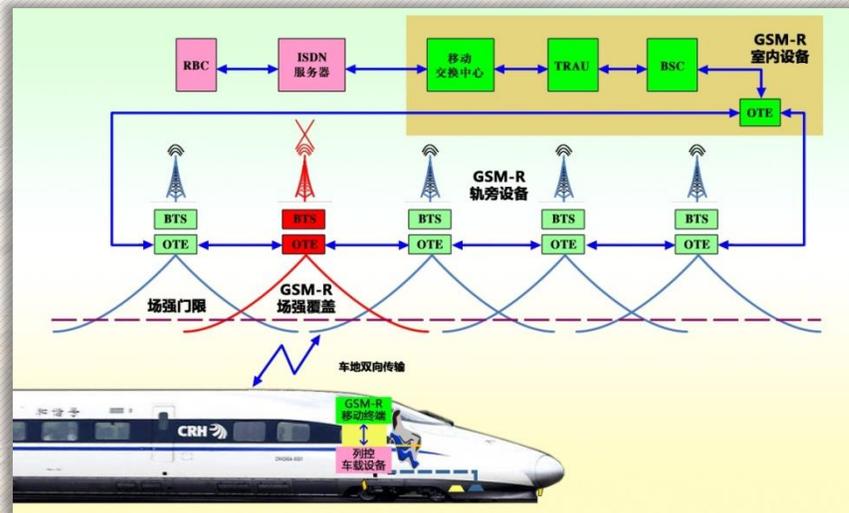
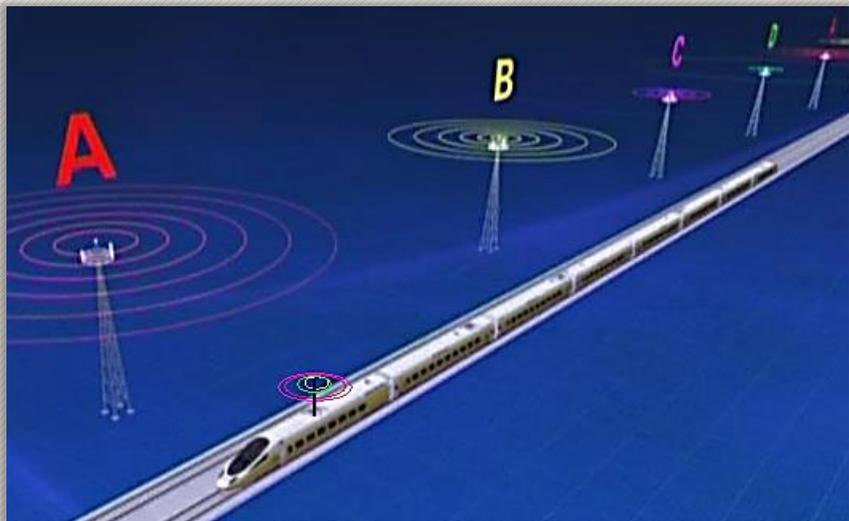
旅客体验舒适

运营成本节约



京沪高铁采用基于车-地信息双向传输的CTCS-3级列控系统，满足时速300~350公里高速动车组运行，满足最小运行间隔3分钟的运营要求，实现了高速条件下列车运行超速防护等功能。

- 创新了高速越区切换的无线网络优化、多线并行无线冗余覆盖等关键通信技术，实现高可靠车地双向传输；
- 创新了目标距离一次连续控制模式曲线算法与生成关键技术，确保高铁列车安全运行；
- 创新了多制式列控系统兼容技术，实现路网互联互通。





## (1) 动车组行车安全监测技术

构建了动车组行车安全综合联网监测应用系统，实现了上线开行动车组的全时空运行状态监测，有效保障动车组运行安全。

- TEDS：利用智能识别技术实现动车组车底、车侧运行图像地对车实时检测；
- TADS：结合声学诊断技术及多源评判技术，实现动车组滚动轴承运行状态的轨旁声学检测；
- TPDS：利用动力学分析技术，实现动车组轮对运行品质的轨旁动态力学检测；
- WTDS：利用先进网络传输及数据分析技术，实现动车组车载检测信息的实时地面下载应用。



TEDS分析作业



TADS、TPDS·监测系统



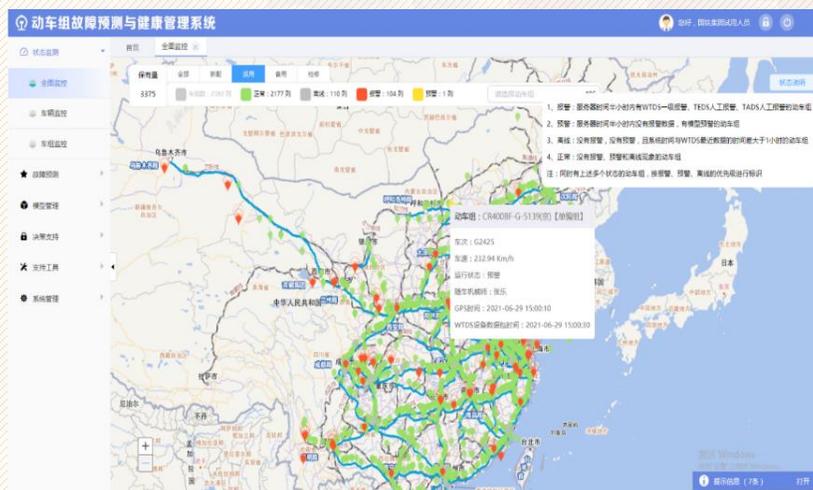
WTDS系统



## (2) 动车组故障预测与健康管理技术

开展动车组故障预测与健康管理技术（PHM）研究及应用，实现了走行部、牵引制动等系统部件的超前预警预测，保障动车组在途运行安全。

- 实施运用了基于大数据架构的多源异构数据处理、特征提取融合技术，提供统一规范的数据服务；
- 实现了动车组超前预警和智能分析及报警、预警处理信息的全流程闭环管理；
- 基于多源异构模型组态管理技术实现模型跨平台部署应用，全面支撑动车组PHM模型高效运行。



动车组全图监控



动车组视情维修建议



### (1) 钢轨智能快速打磨技术

依托京沪高铁验证、示范和应用，推广了高铁钢轨快速打磨技术，研制了国内首台智能化快速钢轨打磨集成试验车，打破国外钢轨快速打磨技术垄断和封锁。

- 具备防脱轨和关键部件失效的智能控制与预警系统；
- 对钢轨打磨前后不平顺、损伤、覆盖度等进行智能化快速在线检测。



智能化快速钢轨打磨集成试验车





### (3) 无砟轨道病害“微创”整治技术

创新研发了基于高压水射流精准拆除的底座板与后浇带整治技术和基于绳锯的无砟轨道支承层原位更换整治技术，确保整治过程中轨道结构的稳定性，有效解决了无砟轨道安全高效“微创”维修难题。



高压水射流精准拆除效果



基于绳锯的无砟轨道支承层原位更换整治技术

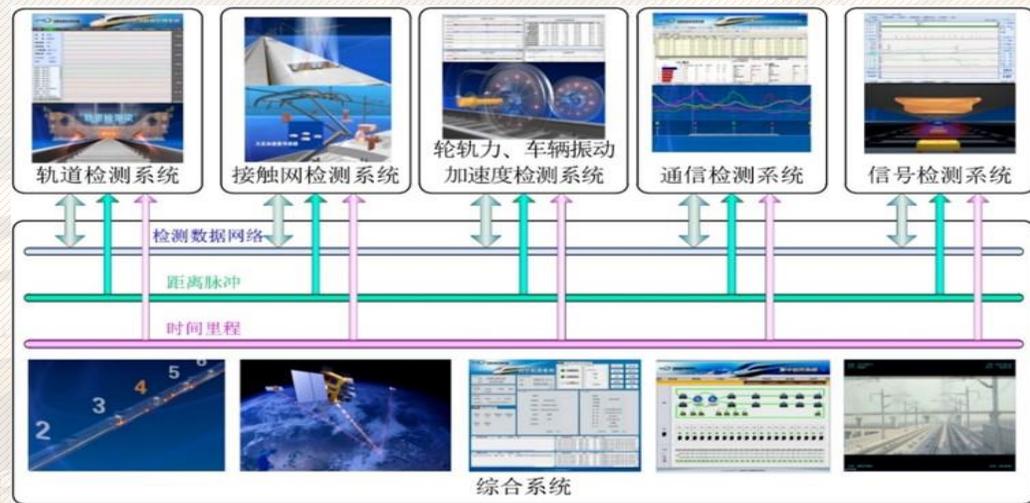


## (1) 高速综合检测列车

立足自主开发和原始创新，突破高速激光检测、精确时空同步定位、海量检测数据管理分析、车辆/轨道/接触网系统状态综合评价等一系列关键技术难题，形成具有自主知识产权的时速400公里高速综合检测及评估成套技术。京沪高铁自开通至今，采用综合检测车进行轨道质量指数、接触网几何参数、轨道电路、场强覆盖等动态检测，累计检测里程超70万公里。



以动车组为载体，检测速度250-400km/h



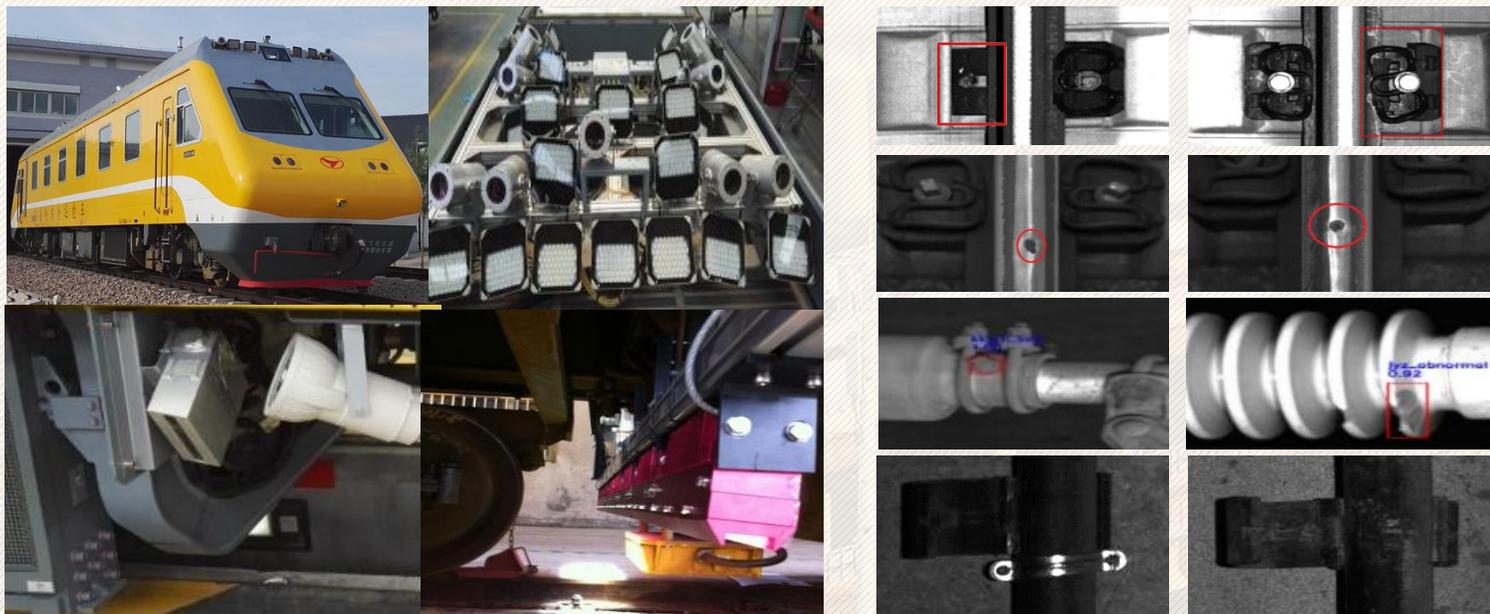
检测轨道几何状态、接触网状态、线路周边环境等



## (2) 综合巡检车

基于高速动态成像、视觉检测、协同控制、机器学习等人工智能技术，实现对工务、电务、供电等专业基础设施外观状态的动态检测，基本替代了人工巡道，提升了全路综合巡检作业效率。

目前，综合巡检车已累计检测超上万公里，服务于京沪高铁线路巡检。



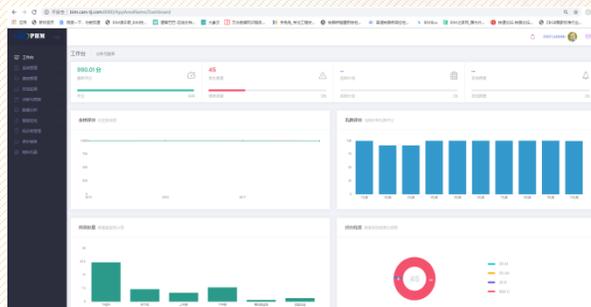
“机器识别为主，人工辅助确认” 巡检作业模式



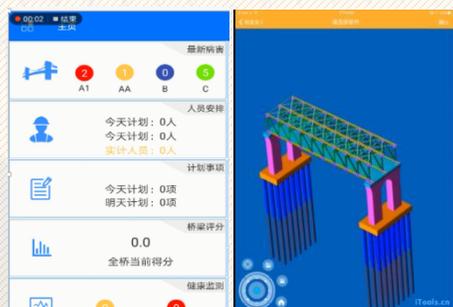


## (4) 基础设施故障预测与健康管理

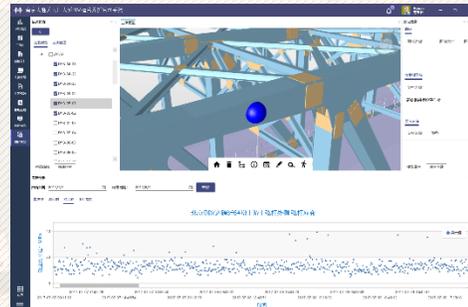
搭建了基于BIM的桥梁故障预测与健康管理（PHM）系统，以运维BIM模型为载体，关联设计、施工、竣工验收和运维检测的关键信息，基于车-线-桥-环境耦合理论，对大桥进行状态诊断、预测分析和健康管理。目前，该系统在南京大胜关长江大桥进行了应用，推动检养修和运维管理模式升级。



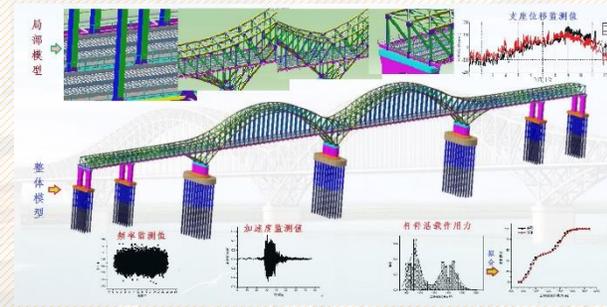
PHM系统工作台



智能人工巡检



在线监测数据集成



诊断预测数据分析



## (1) 电子客票技术

2019年11月，京沪高铁率先开通电子客票服务，实现了旅客出行无纸化，有效提升旅客出行体验、节约运营成本、提高客运组织效率，为铁路客运智能经营奠定坚实基础。

提供线上线下协同、全路一体化的酒店预订、网络订餐等全行程服务产品。与东航集团合作开展上海虹桥空铁联运，为旅客提供“高铁+飞机”一站式购票。



替代传统纸质车票，实现传统客票运输合同、乘车凭证、报销凭证三大属性的有效解耦



实现旅客出行无纸化、业务办理自助化、出行体验一致化、客运管理智能化

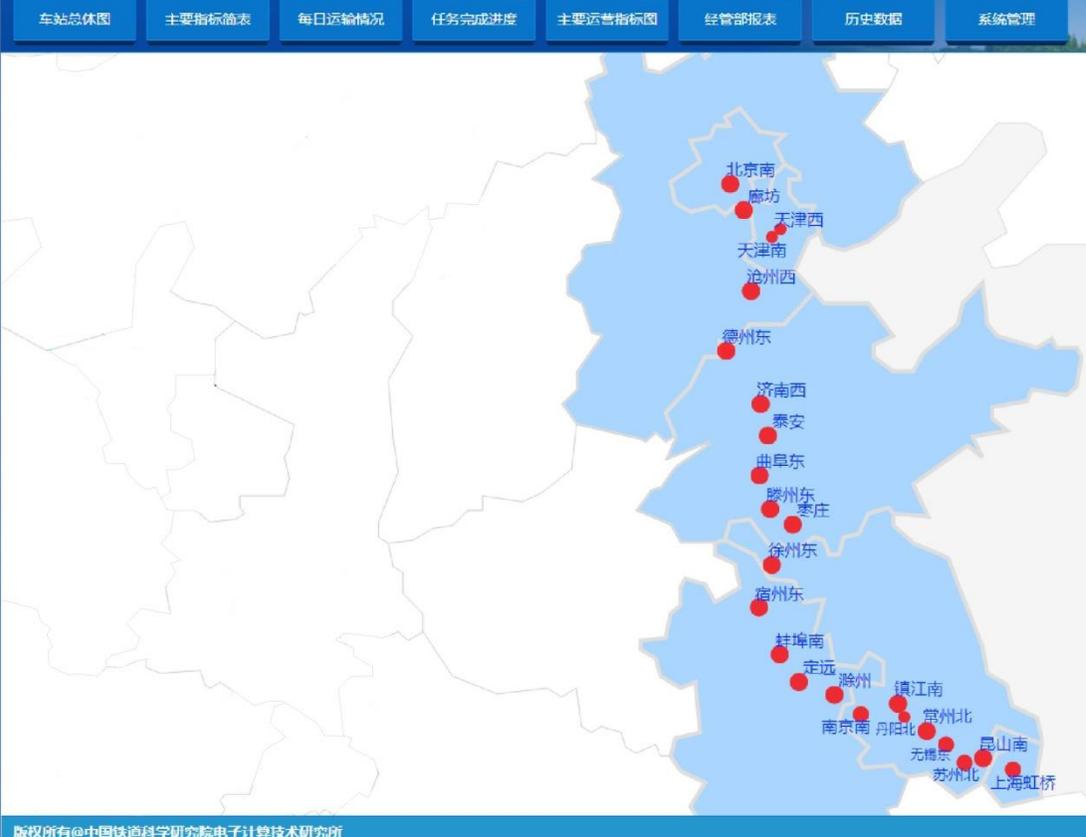


## (2) 票额管理技术

为促进运力充分、合理运用，创新票额组织模式，实现基于客流预测的列车票额精细化供应管理，有效支持在营业里程占比3.7%的京沪高铁实现9.3%的高铁旅客发送量，为引领铁路客运数字化运营转型做好票额组织与销售应用示范。



京沪高速铁路股份有限公司客运营销辅助决策支持



京沪高铁客运营营销辅助决策支持



## (1) 综合试验

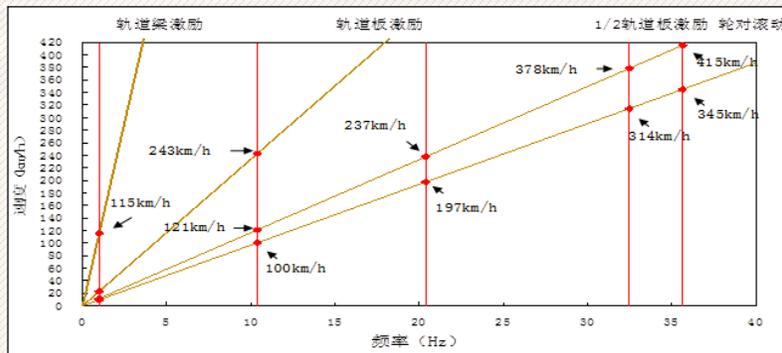
2010年11月至2011年5月，在京沪高铁开展了新一代高速动车组、高速综合检测列车、新型弓网及供变电系统、无砟轨道结构、通信信号系统等9大类57项综合试验，系统验证了固定设施、移动装备的安全性、匹配性和适用性。2010年12月3日，国产“和谐号”CRH380AL新一代高速列车以每小时486.1公里的速度，刷新了世界铁路16辆编组运营试验列车最高速度。



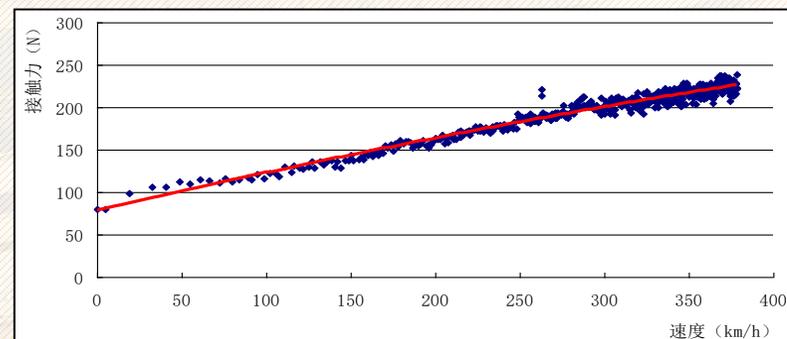


## (2) 理论创新

通过试验首次揭示了时速380~420公里高速铁路土建工程、动车组、牵引供电、通信信号等系统的科学规律以及轮轨、弓网、流固耦合相互作用关系，为确立更高速度高速铁路技术标准和设计方法提供支撑。



进一步揭示了高速条件下动车组和轨道结构动力学响应与系统激励之间的关系



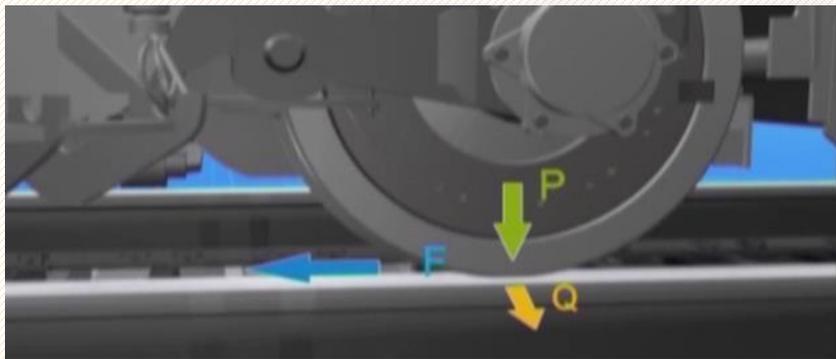
首次获取大张力接触网的弓网受流性能和接触网波动性能规律



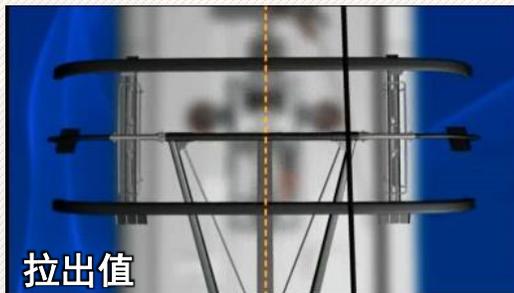
### (3) 检测技术创新

首次进行了综合检测列车时速400公里检测验证试验，掌握了具有自主知识产权的系统集成技术，轨道、轮轨力、车辆动态响应、综合等检测系统关键技术，为指导高铁基础设施养护维修提供了有效手段。

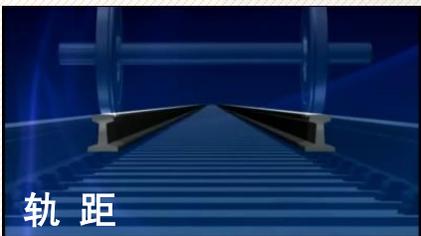
车辆动力学



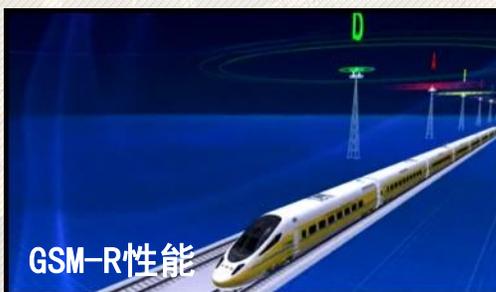
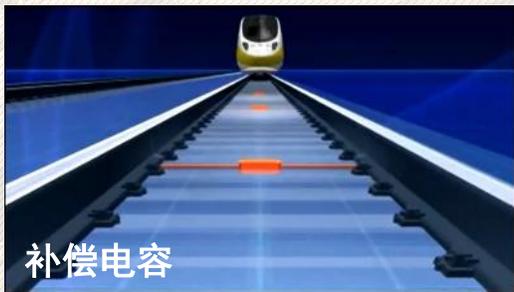
接触网



轨道



通信信号

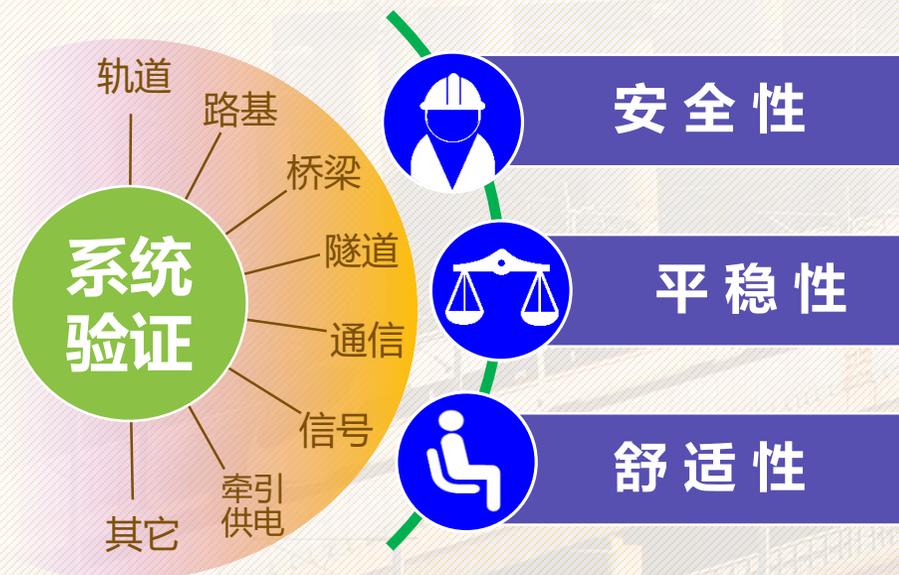




#### (4) 检测验证技术标准创新

开展了时速350公里全面系统检测验证，形成了轨道、接触网、通信、信号、车辆动力学等成套检测验证试验技术标准，为我国高速铁路设计、建造、验收和运营提供重要借鉴，引领我国高速铁路技术发展。

#### 京沪高铁以时速350公里持续运行



#### 系统构建





02

# 京沪高铁技术创新对 中国高铁的贡献



坚持原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新，通过持续的科技攻关、建设和运营实践，攻克了多项技术难题，在工程建设、装备制造、运营维护等方面取得一系列重大技术创新成果。

形成涵盖高铁工程建设、装备制造、运营管理三大领域的一系列技术标准，为构建具有自主知识产权的高铁成套技术体系发挥重要作用。

铁道国家标准  
131项

铁道行业标准  
553项

高铁技术标准

国铁集团企业标准  
和标准性技术文件  
746项



构建了高铁成套试验验证技术，首次实现了全线持续时速350公里等级系统检测验证，形成了高速铁路动态验收技术标准；首次开展了时速380公里等级综合试验，研究探索了更高速度系统耦合作用规律及适应性，推动我国高铁试验验证技术体系不断完善，为更高速度高铁研究提供了科学依据。

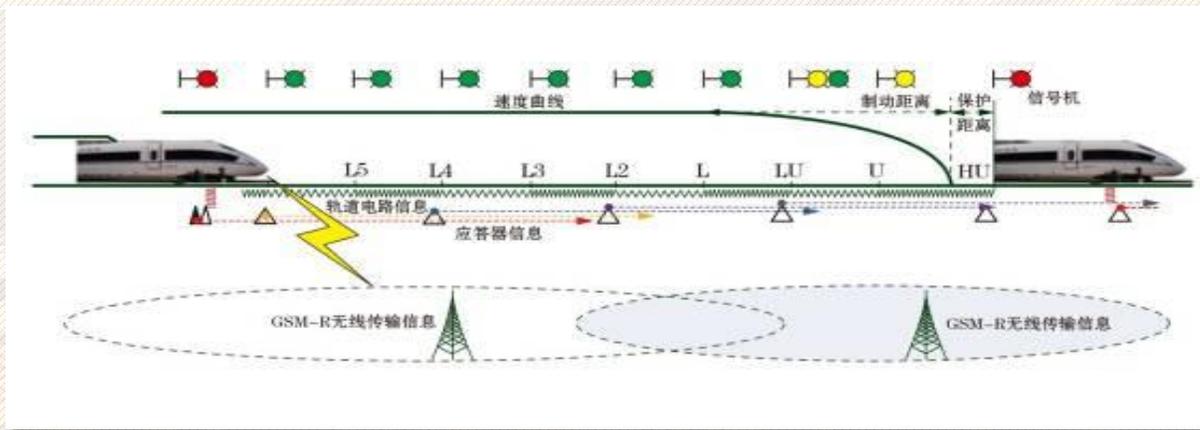


## 2.3 推动提升我国高速铁路技术装备总体水平



成功研制了拥有完全自主知识产权和世界先进水平的复兴号中国标准动车组，并于2017年9月率先在京沪高铁投入运营，实现时速350公里商业运营。

创新时速350公里高速铁路CTCS-3级列控技术，满足动车组列车公交化运行和跨线运行需要，实现列车高速度、高密度的安全运行，进一步提高了线路通过能力。





京沪高铁作为我国高铁运维技术创新的探路者和实践者，积极探索和把握高铁运维规律，创造性地提出了“微创”维修理念，持续开展高铁无砟轨道病害整治技术攻关，自主研发了我国首台中国标准智能化快速钢轨打磨集成试验车，为推动我国高铁运维技术体系不断完善发挥重要作用。



中国标准智能化快速钢轨打磨集成试验车



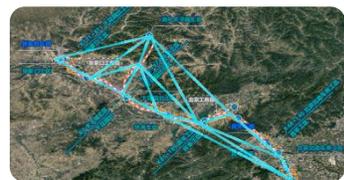
03

# 京沪高铁 技术创新展望

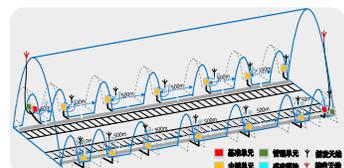


依托国家卫星导航应用重大工程项目，开展京沪北斗技术示范应用，总体框架为“1+2+N”。

- 1个示范应用基础平台：北斗平台
- 两项重要支撑：地基增强系统和隧道覆盖系统
- N项应用：铁路基础设施监测、人员安全防护、铁塔倾斜监测、轨道精密测量等



地基增强系统



隧道覆盖系统



铁塔倾斜监测



人员安全防护



应急



铁路基础设施监测



时间同步

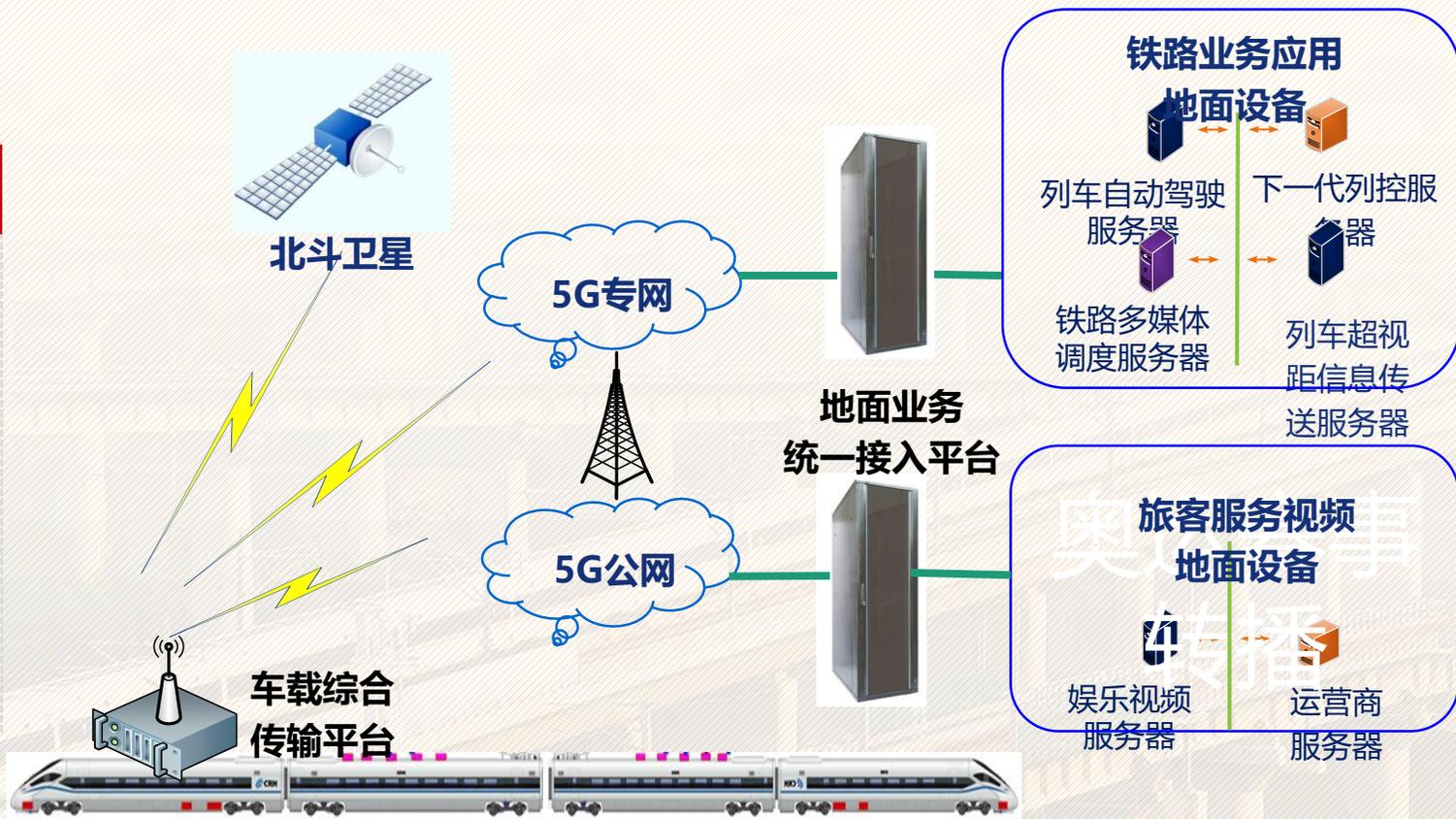


轨道测量



构建车载宽带综合传输平台，支持铁路5G、公网5G、毫米波等多种技术制式，构建大容量车地传输通道。

支持铁路多媒体调度、列车超视距信息传送、列车自动驾驶、下一代列控、车载设备监控等新型应用信息传送需求。





为确保京沪高铁持久安全，将不断加大科技创新力度，下一步发展重点是打造数字京沪高铁和智能京沪高铁，推动京沪高铁实现智能化提升，引领我国铁路高质量发展。

设施设备全生命  
周期智能运维

云边融合的检  
测装备智能化

继承深化  
+  
技术创新

监测检测视频智  
能分析和预警

基于空天地一体化  
的基础设施和外部  
环境监测

- 大数据、人工智能、物联网等新技术运用更充分，数据挖掘和智能应用更深化。
- 进一步加大检测监测、运营维护技术攻关，推动自主创新成果在京沪高铁工程化应用。



在实现对京沪高铁设备设施全生命周期、全方位管理的基础上，逐步形成“让高铁数据发出智能声音”的高铁智能运维新理念，提供更智能、更高效、更全面的数据和信息支撑，进一步推进高铁运维状态修，满足高铁运维智能化发展需求。



设备设施全生命周期、全方位管理

“让高铁数据发出智能声音”

进一步推进状态修





深化节能环保和清洁能源利用等多项技术在已运营高铁车站的研究应用，探索和引进铁路超低能耗建筑相关技术，实现铁路资源及能源利用最优化和二氧化碳排放最少化，建设绿色铁路。

光伏发电系统



绿色低碳车站



**围绕交通强国、科技强国建设要求，抓住新一轮科技变革和产业变革重要机遇，进一步发挥京沪高铁技术创新示范作用，持续提高关键技术装备自主创新能力，为打造更具国际竞争力的中国高铁品牌、扩大中国高铁世界领先优势提供坚强支撑！**



谢 谢！

