

京津城际铁路科技创新

何华武

(中华人民共和国铁道部, 北京 100844)

[摘要] 高速铁路是复杂的巨系统。京津城际铁路是我国首条工程实践、运营实践的高速铁路,在攻克系统设计与系统集成、轨道高平顺与高稳定、高速列车安全与舒适、运行(营)控制可靠与高效四大方面科技难题和关键技术取得了重大创新成果;历时3年建造,开通运营验证,整体达到世界领先水平;该成果对推进我国铁路网又好又快地建设具有指导性、示范性的重大作用。

[关键词] 高速铁路;京津城际;创新成果;示范引领

[中图分类号] U21 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)01-0004-13

1 前言

京津城际铁路正线全长 120 km,设北京南、亦庄、永乐、武清、天津 5 个站。北京段主要为冲洪积地层,天津段主要为海陆交互堆积地层。沿线地震动峰值加速度为 0.20 ~ 0.15 g,部分为地震液化层;普遍分布软土,其中冲积软土静力触探端阻低,在 0.3 ~ 0.7 MPa,孔隙比高最高达 2.0,含水量大,最大达 70%;松软土主要分布在北京路段,最深达 23 m;区域性地面沉降由过量开采地下水引起,构造活动及土层的自身固结引起的沉降速率 1 ~ 2 mm/a。京津城际铁路对工后沉降要求极为严格,必须针对不同工程地质条件,采取对应、合理的工程措施。正线最小曲线半径 7 000 m,最大坡度 12 ‰,线间距 5 m。正线桥梁占线路长度 87%,采用 CRTSII 型板式无砟轨道结

构。运行列车本线采用 CRH2, CRH3 高速动车组。北京南站、天津站是集多种交通方式为一体的大型现代客运综合交通枢纽。

京津城际铁路 2005 年 7 月 4 日开工建设,2008 年 8 月 1 日正式开通运营,高速动车组最高持续运行时速 350 km,北京至天津间直达列车约 30 min 到达。几代铁路人夙愿变成现实,举世瞩目。运营期间,旅客乘坐安全、平稳、舒适,正点到达,进出车站通畅、便捷,为北京奥运会和残奥会提供了优质、高效的运输服务,对促进环渤海地区经济社会协调发展发挥着重大作用,受到社会广泛赞誉。至 2008 年 12 月 1 日开行动车组 14 590 列,运营业绩表明,京津城际铁路既是我国铁路建设史上的又一座里程碑,也是世界上高速铁路的代表作。京津城际铁路线路平面示意图如图 1 所示。



图 1 京津城际铁路线路平面示意图

Fig. 1 Schematic diagram of track plain for JJ(Beijing-Tianjin) inter-city railway

[收稿日期] 2008-09-06;修回日期 2008-12-11

[作者简介] 何华武(1955-),男,四川资阳市人,教授级高级工程师,博士生导师,长期从事铁路客运专线和高速铁路技术研究;E-mail: xiongjiel12@126.com

2 与同类技术先进性比较

2004年,铁道部明确提出高速铁路和客运专线建设的总目标是要达到世界一流水平,即一流的工程质量、一流的装备水平、一流的运营管理。京津城际是我国第一条高速铁路,功能、定位及建造质量、工期、环保和投资控制,都是当今世界高速铁路最具挑战性、最富创造力的宏伟工程。按照总目标要求,依靠科技进步,加强自主创新,攻克技术难题,掌握关键技术,实现了自主设计、制造、施工、调试、运营。

2.1 与同类技术比较

京津城际铁路与同类铁路比较如表1所示。

表1 京津城际铁路与同类铁路比较

Table 1 Comparison of JJ inter-city railway with other similar technologies

比较项	中国	日本	法国	德国
	京津城际铁路	山阳新干线	地中海线	科隆—法兰克福线
运输模式	高速客专	高速客专	高速客专	高速客专
本线列车持续运营速度/(km·h ⁻¹)	350	300	320	300
跨线列车持续运营速度/(km·h ⁻¹)	250	新干线与既有有线不兼容	高速列车下线	高速列车下线
速差/(km·h ⁻¹)	100	0	0	0
最小追踪间隔/min	3	3	3	4
列车运行控制方式	CTCS-3D	DS-ATC	UM2000+TVM430	LZB
调度集中方式	CTC	CTC-1A	CTC	CTC
动车组类型	CRH3 CRH2	500系 700系	TGV-2N	ICE3
编组方式	4M+4T 6M+2T	16M 12M+4T	L+8T+L	4M+4T
车体宽度/m	3.27 3.38	3.38	2.9	2.95
定员/人	557,610	1 324	545	415
最大功率/kW	8 800	18 240	8 800	8 000
轨道类型	全线无砟	岔区外无砟	有砟	新建段无砟

2.2 技术水平

与世界高速铁路代表线路比较,京津城际铁路整体达到世界领先水平,其主要标志如表2所示。

表2 京津城际铁路技术水平

Table 2 Technical level of JJ inter-city railway in the aspects of railway technologies

序号	内容	水平
1	持续运营时速350km	世界第一
2	轨道结构与线下基础	世界领先
3	高速动车组	世界领先
4	不同速度值列车共线运输模式	世界领先
5	站房、站场与交通疏解	世界先进
6	列车运行控制系统	世界先进
7	旅客服务系统	世界先进
8	节能环保工程	世界先进

京津城际铁路历时3年时间建成,实现了总目标,是中央、地方政府对铁路发展高度重视,30年来综合国力的增强,社会各界大力支持的结果;得益于我国铁路走出了一条符合中国国情和路情的自主创新之路,丰硕的创新成果支撑了我国高速铁路又好又快建设。

3 科技创新及主要成果

3.1 面临的工程科技难题和关键技术

我国对高速铁路研究试验、工程实践,比铁路发达国家相对滞后。在系统掌握了时速160 km铁路固定设施、移动装备和运输组织等成套技术的基础上,虽然通过工程试验段和连续大提速,达到了运营时速250 km,跨入了高速铁路门槛,但时速350 km高速铁路设计、制造、施工、调试、运营等完整的技术体系正在补充、完善过程中,更需要工程和运营实践验证。

在这种背景下,要将京津城际铁路建成世界一流高速铁路,其艰难性和复杂性在世界铁路发展、建设史上前所未有,挑战极其严峻。面临着系统设计与系统集成、轨道高平顺与高稳定、高速列车安全与舒适、运行控制可靠与高效四大方面工程科技难题和关键技术亟待攻克(见图2)。

3.2 系统设计整体优化

京津城际铁路是一项复杂的系统工程,运营需求、线路走向、车站布局、轨道类型、线下基础、列车配置、运控方式、养护维修、运营管理等内涵十分丰富,做好系统设计、整体优化尤为重要。

3.2.1 引入车站、线路走向及目标速度

北京城市总体规划构建为“两轴—两带—多中心”的空间布局(见图3)。

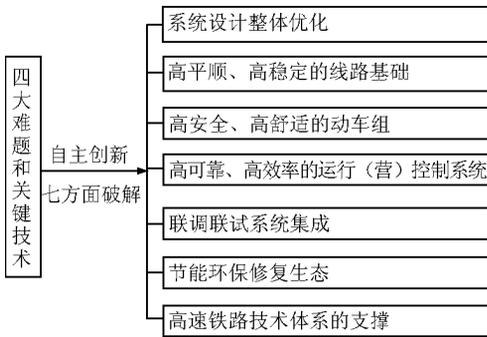


图2 京津城际铁路四大难题和关键技术
Fig. 2 Four difficult problems and key technologies of JJ inter-city railway



图3 北京城市总体规划示意图
Fig. 3 The sketch map of the overall city plan for Beijing

相对应,北京铁路枢纽构建为衔接 11 条铁路干线、6 条客运专线,“四主两辅”6 个客运站的特大型放射式环形铁路枢纽总图(见图 4)。



图4 北京铁路枢纽总布置示意图
Fig. 4 General layout of Beijing railway hub

天津城市总体规划构建为“主次轴 - 两主城区 - 放射性城镇”的空间布局(见图 5)。



图5 天津中心城市功能结构图
Fig. 5 Function diagram of Tianjin city center

相对应,天津铁路枢纽构建为衔接 7 条铁路干线、3 条客运专线,“三主两辅”5 个客运站的大型放射式环形铁路枢纽总图(见图 6)。



图6 天津铁路枢纽总布置示意图
Fig. 6 Schematic diagram of Tianjin railway hub

根据北京、天津城市空间布局,铁路枢纽客站数目、分工和设备配置,客流性质、客流量和发展趋势,京津城际铁路将支撑城市空间布局构建,促进综合交通格局形成,缓解城市交通拥堵等高要求。通过大量比选,确定京津城际铁路引入北京、天津铁路枢纽北京南站、天津站。

线路走向充分利用既有通道资源,在北京、天津与既有京山线并行,区间与京津高速公路二通道并廊走行,实现了既有条件下的线位优选。

站址、线位优选确定后,根据北京南至天津站 30 min 到达的运输需求,以及技术的可行性,采用数模拟真列车运行状况,提出满足需求的目标速度曲线(见图 7)。

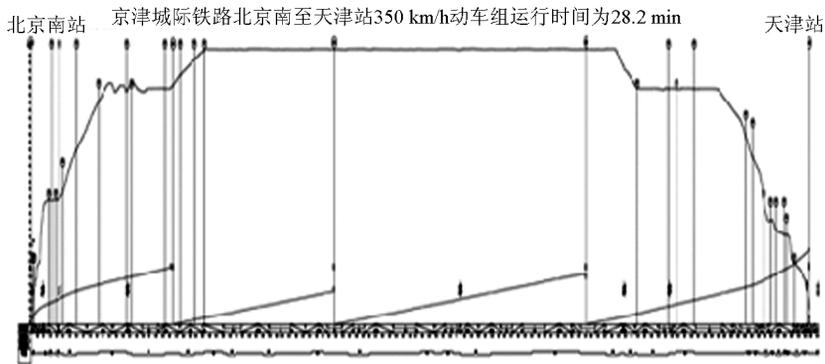


图7 北京南至天津目标速度曲线

Fig. 7 Distance - to - go curve from Beijing south to Tianjin

据此,研究选用京津城际铁路固定设施、移动装备等主要技术标准,进行工程设计、建造,编制运输组织方案。

3.2.2 客运场站及交通疏解

北京南站、天津站全面地展示了客站“功能性、系统性、先进性、文化性、经济性”的建设理念。系统考虑车场、站房建筑、广场、轨道交通及其他公共交通,是集多种交通方式于一体的大型客运综合交通枢纽代表作。

北京南站引入线路有京津城际、京沪高速、京山铁路,并预留市郊铁路。采用城际场、高速场、普速场“一站三场”布置,24条到发线(站台),如图8所示。

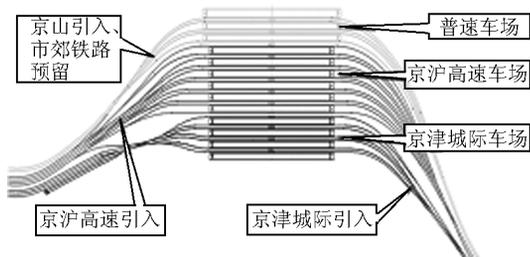


图8 北京南站到发线示意图

Fig. 8 Schematic diagram of arrival and departure tracks in Beijing south station

天津站引入线路有京津城际、津秦客专、京山铁路、津滨铁路,采用城际场、高速场、普速场“一站三场”布置,18条到发线(站台),如图9所示。

两站车场突出特点是,改变了过去客站正线中穿站或正线中穿与外包结合的平面布置(见图10)。

采用分场平面布置,以列车作业过程仿真设置

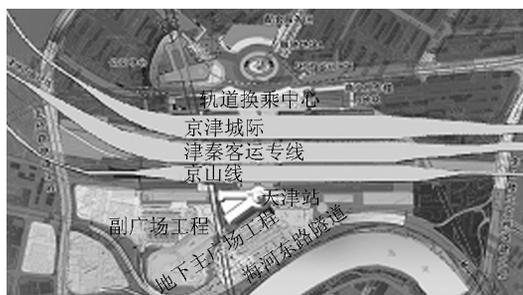


图9 天津站到发线示意图

Fig. 9 Schematic diagram of arrival and departure tracks in Tianjin station

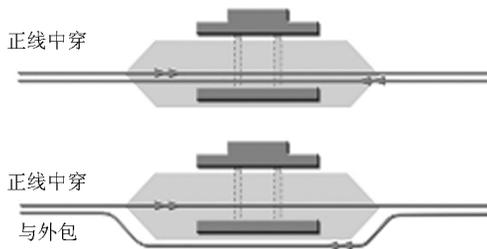


图10 传统车场平面布置图

Fig. 10 Traditional station layout

车站股道数量、咽喉区平面和设施设备规模。北京南站、天津站平行径路数量与车站到发能力、咽喉区通过能力相协调,适应密集接发列车。这是中国铁路场站设计理论、方法的又一重大创新。

北京南站按立体五层布局,地面二层为高架候车层,地面为站台层,地下一层由出站通道、换乘大厅、进站通道等组成,其他层为地铁层,如图11所示。天津站按立体六层布局,地面二层为高架候车

层,地面为站台层,地下一层由出站通道、换乘大厅、进站通道等组成,其他层为地铁层,如图 12 所示。

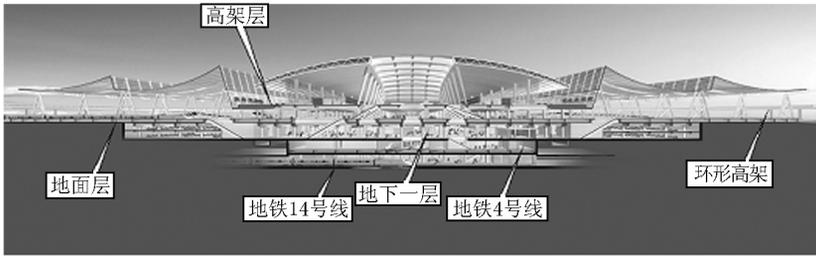


图 11 北京南站剖面示意图

Fig. 11 Schematic diagram of section plane for Beijing south station

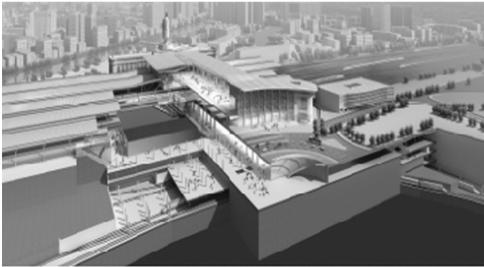


图 12 天津站剖面示意图

Fig. 12 Schematic diagram of section plane for Tianjin station

铁路南仓线路所至天津西站间设联络线,适应运输需要,如图 13 所示。



图 13 南仓线路所至天津西站间联络线示意图

Fig. 13 Schematic diagram of links between Nancang section and Tianjin west Station

车站交通疏解十分复杂,应用仿真技术,合理确定各种车流、人流路径,设施、设备规模及工程设计,使车流、人流“疏”、“畅”,具有客站交通疏解的先进水平。

北京南站、天津站流线功能均能实现“上进下出”、“下进下出”与“站内换乘”和方便残疾人换乘。开通运营验证了客站流线通畅、方便、快捷。

北京南站在建筑、结构、客运服务、节能环保、环境控制、消防安全技术等方面取得 36 项创新成果。

3.2.3 确立了运输组织模式

运输组织模式是决定高速铁路主要技术方案与技术标准的前提和基础,与国情、路情等密切相关。不同国家和地区,比选、采用了适合自身情况的运输组织模式,法国、德国均采用高速列车下既有线兼容运行,高速列车通达里程分别达 7 000 km, 6 000 多 km;日本新干线采用独立运行模式,也对一些窄轨铁路改造,增加第三轨或改为标准轨距,实现下线运行。

根据我国高速铁路和客运专线分建成网、兼容运行特点,研究采用了本线时速 350 km 高速列车与跨线时速 250 km 列车共线运行方案。在京津城际

京津城际铁路开通运营就安排 13 对时速 250 km 动车组列车跨线运行,技术上实现不同速度值列车速差达 100 km/h 的安全平稳运行,是世界铁路首创,极大方便了跨线客流。时速 350 km 铁路列控系统地面设备兼容 CTCS - 2,当装备 CTCS - 2 列控车载设备的动车组进入时速 350 km 铁路时,列控车载设备仍控制动车组按照 CTCS - 2 方式运行,如图 14 所示。

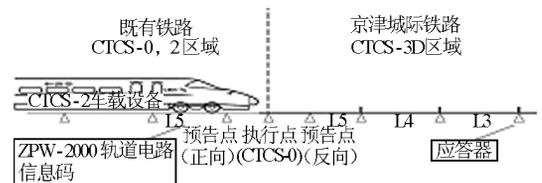


图 14 装备 CTCS - 2 车载的动车组上到时速 350 km 铁路运行

Fig. 14 EMU equipped CTCS - 2 running on 350 km/h high - speed line

3.2.4 确立采用无砟轨道结构

高速铁路轨道结构类型分有砟轨道和无砟轨道。有砟轨道是铁路的传统结构,具有铺设、更换与维修方便,造价较低,吸噪特性稍好等优点。但随着行车速度的提高,行车密度的加大,逐渐发生道砟粉化,轨道呈“蠕动状态”,几何尺寸难以保持,维修周期缩短。法国东南线、大西洋线使用不到10年就不得不大修,维修费用大增,影响正常运营。

无砟轨道具有稳定性高,刚度均匀性好,结构耐久性强,综合维修“天窗”时间短,通过能力大;相同设计速度条件下,曲线半径小,有利于选线;结构高度低、自重相对轻,可减轻桥梁二期恒载,道床整洁美观等优点。但无砟轨道对路桥工后沉降、轨道精确定位要求高,如图15所示。



图15 路桥过渡段无砟轨道
Fig.15 Ballastless track of
bridge - subgrade transition

为了积累路基地段和成段建造无砟轨道经验,解决信号制式采用基于轨道电路+点式设备构成列车运行控制系统、无砟轨道内设置的结构钢筋对轨道电路传输长度影响问题,2004年9月,在遂渝线建设无砟轨道试验段26.3 km。

综合试验验证表明,首次成区段铺设的无砟轨道状态良好,满足高速动车组运行安全性和舒适性等指标要求。通过试验,取得了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、施工装备和无砟轨道技术经济适用条件等方面比较系统的创新成果,基本掌握了无砟轨道成套技术,以此为依据,研究确立京津城际铁路采用无砟轨道结构。

3.2.5 确立桥梁ZK标准活载和合理梁型

欧洲国家普遍采用UIC活载,日本采用高速列车专用N、P活载。我国经大量技术经济分析,采用

0.8UIC活载,即ZK标准活载图式。经对常用跨度梁、墩、基础同精度比较,ZK标准活载图式较UIC标准活载节省材料约10%。

为节约用地并全立交跨越,采用桥梁通过为主。这样,选择合理的常用梁对节约投资就尤为重要。经大量比选,最终选用了32 m简支双线整孔箱梁,梁重810多t,结构横向刚度大,稳定性好,能实行工厂化预制,有利于高效制、运、架和控制质量。

京津城际铁路动检数据表明,ZK标准活载和32 m简支双线整孔箱梁既满足持续时速350 km运行安全性、舒适度指标,又节省了大量投资。

3.3 线路高平顺与高稳定

高速铁路与常规铁路相比最大的区别在于线路高平顺度特性方面。高平顺性最终体现在轨道上,无论是在路基上还是桥涵上,也无论是何种类型的轨道,都要求它不仅在空间要具有平滑的线型、高精度的允差、高光洁度的轨面;在时间上还必须具有稳固的高保持性,具备少维修、可维护的条件。

由此决定路基、桥涵、过渡段、轨道等主要技术参数、技术措施、施工质量等要相互协调耦合,整体上满足高速行车在系统动力学方面安全性、舒适性各项技术指标。

全线铺设无砟轨道和无砟道岔,地基承载力低,处理难度大,路基工后沉降控制技术及其工程措施要求高;全线桥梁孔跨类型多,大跨度桥跨多,最大跨度达128 m,徐变控制难度大。必须把无砟轨道和线下工程作为整体系统研究解决。

进一步开展了软土、松软土地区控制工后沉降技术的研究,桥梁景观、可调高支座、桥梁徐变控制研究,无砟轨道的技术攻关,精密控制测量技术的研究,区域地面沉降地区监测及工程应对措施的研究。

掌握了软土、松软土地区路基设计和施工技术,桥梁设计和施工技术,无砟轨道设计、制造、施工、评估、检验技术,一次铺设无缝线路和高速道岔施工技术,建立了精测网并应用沉降变形计算和观测评估技术。实验验证了解决轨道高平顺性和高稳定性难题所采用措施的可行性和合理性。

3.3.1 路基设计和施工技术

通过采用强化的基床结构、桩板结构复合地基和过渡结构,加强路基填料和压实质量控制,开展信息化施工,建立完善的路基变形监测系统,加强变形监测与评估,决策无砟轨道铺设时机,路基地段工后沉降达到了预期目标。对站后系统接触网柱、雨棚、

过轨、接地等设施,系统总体设计,接口处进行了精细工程预留。

在土质路基、桩板结构路基、档土墙路基沉降控制,垫层处理,路基面防排水,站后系统接口技术等项取得创新成果。

3.3.2 桥梁设计与施工技术

桥梁不仅要满足结构的强度、刚度,而且要满足基础的沉降控制要求,进一步开展了软土地基桥涵基础试验研究,进行实际桥涵基础沉降变形测试,完善适合软土、松软土、粘性土地段桥涵基础沉降的计算理论和方法,提出控制桥涵基础沉降的有效措施;大跨梁施工技术控制研究使主梁及主拱结构的线型达到理想的状态,内力或应力与理想状态吻合。

创新桥梁景观设计理念,优化了桥梁外形,使桥梁整体赋有时代气息;重视桥梁耐久性要求,全线桥梁采用高性能混凝土,主体结构确保百年寿命期。

在常用桥梁结构及跨度研究和设计,整孔箱梁制造、运输、架设成套技术,大跨度特殊桥梁设计建造,桥梁梁部变形控制,软土松软土地地区桥梁沉降观测及控制,可调支座,桥梁景观,站后接口协调技术等项取得创新成果。

3.3.3 无砟轨道设计和施工技术

京津城际铁路选用 CRTS II 型板式无砟轨道技术,进一步开展了轨道板绝缘技术研究及绝缘性能检测,确定了利用绝缘夹和收缩软管进行绝缘处理方案,适应了轨道电路传输长度要求,如图 16 所示。



图 16 CRTS II 型轨道板结构

Fig. 16 The structure of CRTS II slab track

构建了以列车荷载、温度影响和基础变形为主线,充分考虑裂纹控制与耐久性(使用寿命 60 a)、刚度控制与动力特性、站前站后接口与经济性等控制条件、统一的无砟轨道技术理论体系及关键参数;形成了轨道几何计算、轨道板布板及预制件结构设计、不同地段轨道系统的力学计算及结构设计、不同

轨道系统间过渡段设计等技术,掌握了无砟轨道建造和施工设备制造技术。实践显示出现场工程量小,定位精度高、平顺性好、美观、取消伸缩调节器等多项优点。

在跨梁缝全桥连续板式无砟轨道结构滑动层、端刺、联结、限位,轨道板承轨槽精密加工,砂浆配制,轨道结构钢筋绝缘,轨道结构综合接地,板式无砟轨道道岔区结构,长枕埋入式、板式道岔区无缝轨道结构,高速铁路钢轨设计、制造,无砟轨道 18 号道岔设计、制造、铺设,高速跨区间无缝线路铺设,到发线无缝线路,道岔融雪,正线、道岔区无砟轨道扣件,无砟轨道沉降变形观测及评估技术等项取得创新成果。

3.3.4 精密测量控制技术及应用

建立满足轨道施工及维护精度的坐标系,设计和埋设基岩点和深埋水准点,精密处理 GPS 观测数据,开展了 GPS 控制网、导线网、轨道设标网的布设形式、观测方法、精度指标和数据处理及相关软件研究等。通过施工和运营检验,平面高程控制测量分级布设合理,各项测量方法及指标满足轨道铺设和维护精度要求。

在平面高程控制网分级精度控制,平面高程控制网布设,轨道坐标网及高程控制网测量观测,轨道坐标网测量数据采集、处理、平差,建筑物及轨道板精确定位技术等项取得创新成果,轨道控制网精度指标如表 3 所示。

表 3 控制网精度指标

Table 3 Accuracy parameters of control net

控制网级别	点间距/m	方向中误差	相对中误差
CP I	≥1000	≤1.3"	1/170 000
CP II	250 - 300	≤1.7"	1/100 000
CP III	65(设在防护墙或接触网基础上)	≤4"	1/20 000

京津城际铁路无砟轨道,开通运营时速 350 km,高出日本、德国时速 50 km,具有当今铁路无砟轨道及线下基础工程世界领先水平。从理论上和实践上实现了轨道结构的变革,坚定了高速铁路和客运专线成线成段采用无砟轨道的信心。

3.4 高速列车安全与舒适

高速动车组是实现高速铁路功能的关键,是核心和标志性装备。为确保高速行车主要功能标准达标,必须解决高速动车组的供电、车型、牵引、制动、减振、列控、检测等技术难题。铁路发达国家各型高

速列车吸取了当代相关高新技术,已取得骄人成就。如何确保国产高速列车安全、舒适,如期投入京津城际铁路运营,这是必须研究解决的重大科技难题。

3.4.1 高速动车组创新成果

高速动车组包含动车组系统集成,转向架,牵引电机,牵引变压器,牵引变流器,制动系统,牵引控制系统,列车网络控制系统,铝合金、不锈钢车体九大关键技术。

按照“引进先进技术、联合设计生产、打造中国品牌”的重大方针,把铁路市场集中起来,成功引进消化吸收时速 200 km 及以上动车组技术,在运营中取得了成熟经验。应用这个技术平台,再对动车组转向架、车体与转向架结构强度、空气动力学、制动、牵引传动与列车网络、弓网、摩擦材料等技术开展再创新,形成了我国铁路高速动车组技术体系。

2008 年 4 月中旬,国产高速动车组竣工下线,投入联调联试及试运行,2008 年 8 月 1 日开通运营,持续运行时速 350 km,并保持了安全、稳定和舒适。

在丰富高速列车系统动力学理论,集成实现世界最高运营速度,高速轮轨关系,高速弓网关系,流固耦合关系,宽车体,安全,牵引动力技术,构建完整的试验评估体系,运行控制系统等项取得创新成果。

3.4.2 牵引供电技术

牵引供电是向高速动车组输送充足、可靠、高质量的电能,确保动车组安全、平稳、高速、高密度运行的关键技术(见图 17)。

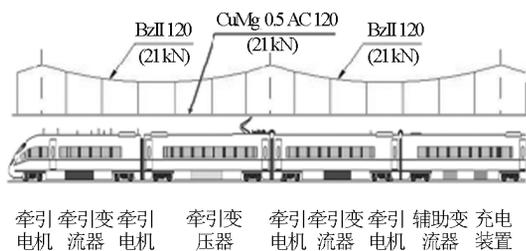


图 17 牵引供电系统示意图
Fig. 17 Schematic diagram of traction power supply system

京津城际铁路正线采用单相工频 50 Hz 交流 2×25 kV AT 供电方式。在亦庄和武清车站附近新建两座牵引变电所,牵引变压器采用固定备用方式,正常时一组投入运行,另一组备用,无载调压方式,

变压器容量 31.5 MVA。

牵引变压器采用 V/V 接线形式,每个牵引变电所设置 4 台牵引变电器。220 kV 采用户外布置, 2×25 kV 侧开关设备采用户内 GIS 开关柜。

接触网为全补偿简单链形悬挂,正线最大跨距为 50 m,结构高度 1.6 m,接触导线张力 27 kN,承力索 21 kN,接触线悬挂点距轨面的高度一般为 5 300 mm。

通过集成创新,动检数据和开通运营验证了牵引供电系统满足高速运行的弓网关系,动车组自动过分相,适应高速度和高密度可靠稳定供电要求,具备综合一体化远程监控能力。

3.5 运行(营)控制系统可靠与高效

高速铁路运行控制及运营管理各子系统,是确保列车运行安全有序,发挥效率与效益的核心体系。高速铁路与常规铁路相比,运行速度大幅度提高,列车密度大幅度增加,运行控制及调度系统应更加完备,更加严密。

高速铁路运控系统是以行车调度为核心,集动车组、牵引供电、综合维修、客服、防灾与安全监控等为一体的综合自动化系统,确保系统高速度、高密度、大编组的运行控制可靠与高效,这是必须研究解决的重大技术难题。

第六次大提速,京广线苏桥至大刘庄区段,从 2007 年 4 月 18 日至今,动车组时速 250 km 客货共线运行、日行车量已达 276 列(客 116,货 154,行包 6)的运营业绩,增强了我国铁路集成创新能力,为高速铁路运控系统搭建了良好的技术平台。

3.5.1 通信信号系统

京津城际铁路建成通信系统(传输和接入、电话交换、数据网、GSM-R、动力和环境监控、救援指挥、同步和时钟、综合网管、综合视频监控等子系统),信号系统(调度集中、列控、联锁、集中监测等子系统)以及旅客服务等系统。

CTCS-3D 列控地面设备配在正线及动车走行线,与 CTCS-2 级系统共用联锁、应答器、轨道电路、LEU、列控中心等设备。闭塞分区长 2.3 ~ 2.4 km,一个闭塞分区由两段 ZPW-2 000 A 轨道电路组成。

3.5.2 旅客服务系统

自主设计开发并系统验证了由票务系统和旅客服务系统构成的,实现铁路客运业务集中管理、信息共享、联合操控和应急联动的高速铁路客运服务系统。

3.5.3 防灾安全监控系统

京津城际铁路防灾安全监控系统由永乐综合维修保养点防灾安全监控中心系统、北京局调度所防灾安全监控设备、车站级网络设备、防灾监控单元、现场监测设备及防灾系统传输网络构成,如图 18 所示。

3.6 联调联试系统集成

京津城际铁路系统集成贯穿于技术条件需求管

理、系统设计、接口管理、系统可靠性及安全认证、施工安装和系统联调联试各个阶段,最主要的是系统诊断、对症处置。联调联试完成 200 余项试验、2 000 余项测试,覆盖各专业的检测、试验,依据数据分析结论,进行系统集成。

3.6.1 系统集成主要技术接口

动车组与各子系统主要技术接口如图 19 所示。

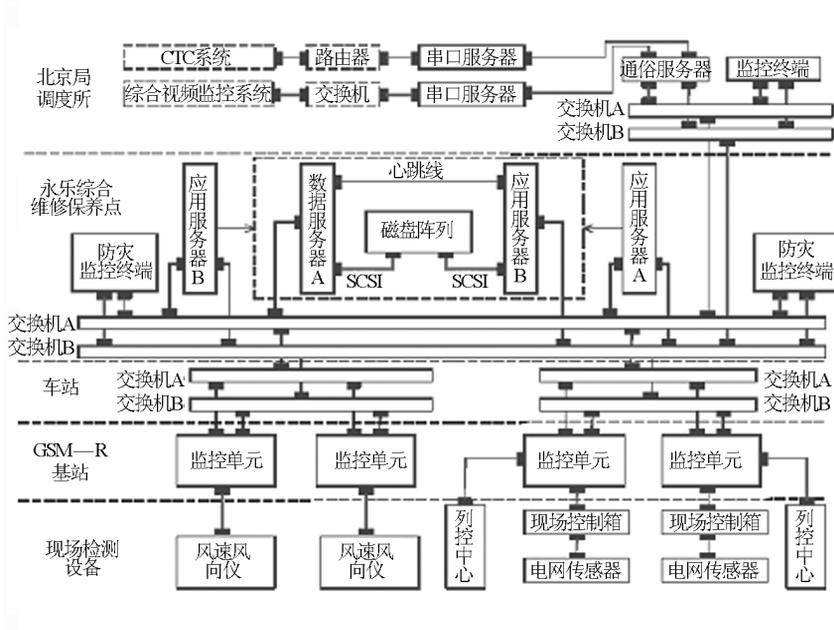


图 18 京津城际防灾安全监控系统总体构成示意图

Fig. 18 Schematic diagram of JJ inter-city railway disaster prevention and safety monitoring

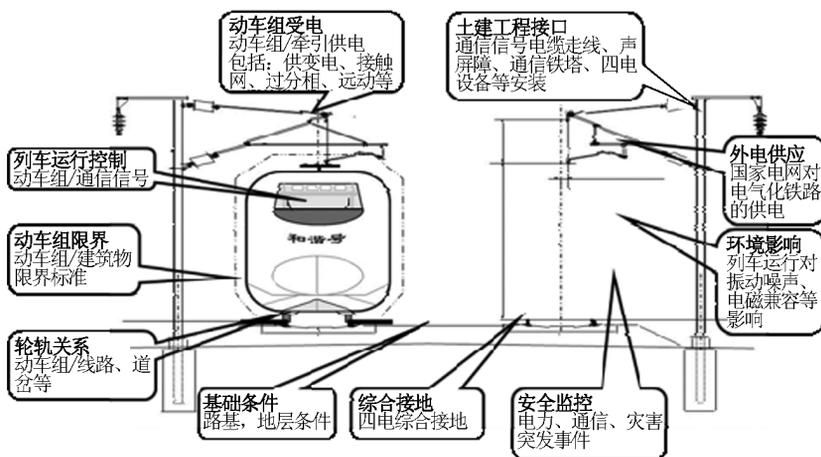


图 19 动车组与各子系统主要技术接口

Fig. 19 Main technological Interfaces of electric multiple unit and all sub-system

3.6.2 检测试验手段

自主研发成功具有世界先进水平的时速250 km高速综合检测列车,安装了轨道、弓网、动力学、通信、信号五大检测系统,采用了世界先进的检测理论、方法和手段。在时速250 km运营条件下,可完成轨道几何状态、轮轨力、弓网受流性能、GSM-R场强覆盖、轨道电路、应答器报文等一系列项目检测,并进行综合数据处理,指导养护维修,确保运营安全可靠。

3.6.3 信号系统案例

信号系统调试案例图如图20所示。

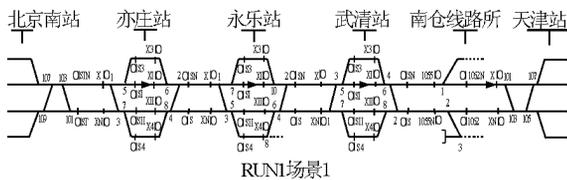


图20 信号系统调试案例图

Fig. 20 Diagram of signaling system debugging

运行场景:北京南站—亦庄—永乐—武清—天津下行正线运行;

调试目的:停车监控测试,检查停车准确度;

调试内容:正常控车试验,车载模式转换,正线发车、停车、通过;

结论:正常。

3.6.4 道岔测试案例

场景:永乐站10号岔位动力性能测试;

测试目的:高速动车组直向、侧向通过18号无砟道岔的安全性、平稳性,轨道刚度设置的合理性、均匀性。

测试内容:

- 1) 安全性指标 Q/P , $\delta P/P$, $Q_1 - Q_2$;
- 2) 转换设备静态测试;
- 3) 道岔部件变形;
- 4) 多机控制性能测试;
- 5) 道岔关键部件强度;
- 6) 液压下拉装置性能测试;
- 7) 轨道刚度;
- 8) 轨道静态观测;

9) 转换、锁闭、监测设备性能。

测试案例如图21所示,对应安全评判标准如表4所示、测试参数限值如表5所示,测试时道岔的测点布置如图22所示,安全性指标实测最大值如表6所示。

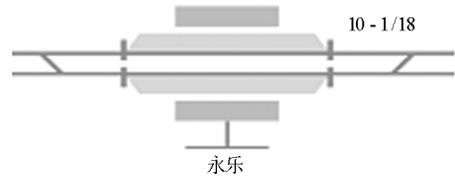


图21 道岔测试案例图

Fig. 21 Diagram for a sampled turnout test

表4 安全评判标准

Table 4 Standards of safety evaluation

安全系数	评定标准
脱轨系数 Q/P	≤ 0.80
轮重减载率 $\delta P/P$	≤ 0.80
轮轴横向力/kN 混凝土枕	$\leq 10 + (P10 + P20)/3$

表5 测试参数限值

Table 5 Threshold of test parameters

测试参数	限值
轨道竖向位移/mm	± 3.0 (客车)
钢轨件横向弹性位移(通过道岔直向)/mm	≤ 1.5
尖轨、心轨开口量/mm	≤ 4.0
转换阻力/kN	≤ 6

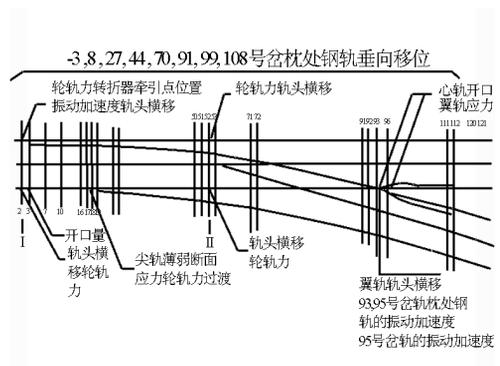


图22 10号岔位18号道岔测点布置示意图

Fig. 22 Test arrangement of No. 18 switch

表 6 安全性指标实测最大值

Table 6 Max. values relating to safety requirements from real testing

安全性指标实测最大值										
断面	顺向道岔					逆向道岔				
	速度/ (km·h ⁻¹)	脱轨 系数	减载率	轮轴横 向力/kN	横向水平 力/kN	速度/ (km·h ⁻¹)	脱轨 系数	减载率	轮轴横 向力/kN	横向水 平力/kN
I	336	0.05	0.19	2.9	3.1	297	0.10	0.28	7.5	5.7
	345	0.06	0.29	4.8	3.8	314	0.08	0.22	5.3	5.1
	345	0.08	0.28	7.4	5.4	322	0.09	0.28	9.2	7.5
	346	0.07	0.28	6.0	4.7	325	0.08	0.27	6.0	5.1
	346	0.06	0.27	7.6	5.2	335	0.08	0.26	8.7	8.1
	348	0.10	0.40	7.1	7.3	336	0.17	0.28	12.9	12.7
	348	0.06	0.27	5.7	4.7	346	0.07	0.32	8.3	6.5
	349	0.07	0.31	7.4	5.4	350	0.05	0.24	5.2	5.0
	350	0.10	0.30	6.4	6.4	-	-	-	-	-
	350	0.10	0.30	6.4	6.4	-	-	-	-	-
II	336	0.07	0.17	5.3	3.3	297	0.14	0.35	9.6	7.1
	345	0.08	0.19	7.1	4.9	314	0.08	0.14	9.4	5.1
	345	0.06	0.28	4.7	3.4	322	0.11	0.19	8.0	5.9
	346	0.10	0.36	7.4	5.5	325	0.11	0.22	10.7	6.2
	346	0.08	0.27	4.9	5.0	335	0.13	0.24	12.5	8.6
	348	0.09	0.28	8.1	4.3	336	0.14	0.26	16.9	10.7
	348	0.08	0.30	7.3	4.4	346	0.22	0.23	13.8	15.4
	349	0.10	0.27	7.6	4.4	350	0.13	0.22	15.7	9.7
	350	0.07	0.37	7.2	4.4	-	-	-	-	-
	350	0.07	0.37	7.2	4.4	-	-	-	-	-

结果分析:脱轨系数为 0.05 ~ 0.22,减载率为 0.13 ~ 0.4,轮轴横向力为 2.9 ~ 19.6 kN,横向水平力为 3.1 ~ 15.4 kN,均小于安全限值,安全性满足技术要求。尖轨薄弱断面轨底应力如表 7 所示,钢轨和翼轨轨头动态横向位移如表 8 所示,尖轨和心轨开口量如表 9 所示,相关量值均小于对应安全限值,满足安全性要求。

表 7 尖轨薄弱断面轨底应力

Table 7 Stress of rail base with weak switch rail profile

尖轨断面处/mm	实测应力/MPa	许用应力/MPa
40	53	355
50	50	355

表 8 钢轨和翼轨轨头动态横向位移

Table 8 Dynamic lateral displacement of railhead of rail and wing rail

高速动车 通过断面	直基本(导) 轨轨头/mm	曲(直)基本 轨轨头/mm	翼轨轨 头/mm	限值/mm
I	0.33	0.26		1.5
II	0.33	0.60		1.5
			0.82	1.5

表 9 尖轨和心轨开口量

Table 9 Openness of switch rail and point rail

	通过时实 测/mm	允许值/mm	备注
尖轨	0.33	4	HRS 钩型外锁闭装置可以有效
心轨	0.76	4	控制尖、心轨开口值,锁闭安全 可靠

岔区钢轨垂向位移和轨道刚度:布置了钢轨垂向位移(垫板压缩量)测点 8 个,动车组过岔时,各测点钢轨的位移值如图 23、图 24 所示。

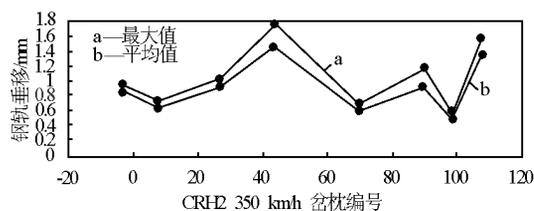


图 23 钢轨垂向位移平均值和最大值 (CRH2-300 型动车组,300 km/h)

Fig. 23 Average value and max. value of rail vertical displacement (CRH2-300EMU, 300km/h)

时速 350 km 时,钢轨垂向位移均值在 0.51 ~ 1.46 mm 之间,最大值在 0.55 ~ 1.76 mm 之间。8

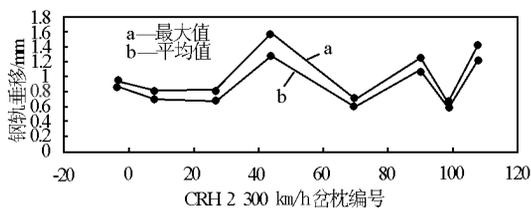


图 24 钢轨垂向位移平均值和最大值
(CRH2-300 型动车组, 350 km/h)

Fig. 24 Average value and max. value
of rail vertical displacement
(CRH2-300EMU, 350 km/h)

个测点均值 0.8 mm, 最大值均值 1.05 mm, 说明刚度值为 17.5 kN/mm 的弹性基板提供了好的弹性。位移最大值均小于限值 3 mm。钢轨垂向位移相对差别较大, 表明通过调扣件实现岔区轨道刚度均匀化效果不明显, 如表 10 所示。

表 10 转换设备测试结果

Table 10 Test results on switching machines

	尖轨动作 杆动态力/kN	心轨动作杆 动态力/kN	动态位移 测试/mm	转辙机垫板位 置加速度/g
最大值	0.502	0.867	0.55	55

转换设备测试指标均满足技术使用要求; 同时, 进一步进行多机控制器故障试验和转辙机摩擦连接器寿命试验, 结果表明应加强对翼轨的养护和观测。

按照国内成熟的技术标准, 借鉴欧洲先进的技术标准和安全认证体系, 形成了自主的集成能力, 创新成果有以下几个方面。

1) 首次建立了高速铁路联调联试及试运行模式, 为我国高速铁路的联调联试及试运行提供了范例。

2) ZPW-2000A 无砟轨道路段, 通过研究无砟轨道对调谐式轨道电路传输的影响机理, 提出轨道电路的优化解决方案, 最终确定 1 200 m 的轨道电路长度限值。

3) CTCS-3D 集成解决了不同列控系统的兼容问题, 采用统一的闭塞分区和信号布点, 使用统一布局的应答器, 确认识别各自 ATP 车载系统的报文数据。

4) 建立了以欧洲安全标准认证为主, 国内标准认证为辅, 交叉认证的安全认证方式, 解决了中外安全认证体系差异问题。

5) 实现了速差旅客列车混合运行, 高速线与既有线互联互通的运输模式。

3.7 节能环保修复生态

铁路有其运量大、能耗低、占地省、有利环保等优势。在京津城际铁路中, 进一步加大节能环保创新力度和有效措施, 取得了显著效果。

1) 选线尽量减小对环境的影响, 利用既有铁路、高速公路通道并廊走行, 尽可能减少对周边环境的影响; 在北京、天津进出站地段, 选用了与行车速度相匹配的曲线半径和线间距, 尽量避开沿线的重点建筑物。

2) 车站紧凑布置减少对环境影响并节约了用地。

3) 采用桥梁通过为主, 有效减少了铁路对沿线城镇的切割, 更节省了大量用地。

4) 北京南站、天津站建成超大面积玻璃穹顶, 在高架层进行了透光处理, 充分利用了自然光照明; 北京南站采用热电冷三联供和污水源热泵技术, 推进了环保型能源应用。

5) 动车组采用流线型车体和轻量化技术, 每小时人均耗电仅 15 kW, 在陆路运输方式中最节省能源。

6) 动车组采用电力牵引, 没有任何废气排放; 真空式集便装置, 实现了污物、污水集中收集和垃圾零排放。

7) 边坡绿色防护和沿线建筑物“景观设计”, 与绿色交通融合, 以修复生态环境。

8) 安装声屏障, 有效降低了噪音污染。

3.8 高速铁路技术体系

我国铁路网特色鲜明: 路网覆盖的超长性, 路网密度的单薄性, 线路标准的统一性, 调度指挥的集中性, 地质条件的差异性, 分建成网的复杂性等, 不可能照搬任何一国的高速铁路技术。

高速铁路是复杂的巨系统, 通过科技人员长期投入, 数千项次研究、开发、专题研究和综合试验; 以工程试验段和第六次大提速时速 250 km 路段为依托, 运营验证为依据, 具有中国特色的高速铁路技术体系, 在京津城际铁路中得到了应用、补充完善, 并在工程和运营中成功实践验证。至此, 我国已经初步建立起具有自主知识产权高速铁路技术体系。

目前高速铁路和客运专线技术体系包括 200 多项内容: 铁路主要技术政策; 铁路技术管理规程; 60 kg/m 钢轨、道岔等技术标准、条件; 工程测量、工程设计、施工技术、质量验收等规范、规定、标准、指南; 动车组试验、试运行、运用检修等技术条件、管理

办法、操作规程;列车控制系统(CTCS)相关规范、技术条件;综合接地等技术条件、实施办法;无砟轨道道岔铺设等施工技术细则、实施细则、指南;运营管理等技术规章。这些技术,既支撑了京津城际铁路3年时间优质、高效建造和开通运营,又支撑着在建项目快速、有序推进。

4 结语

京津城际铁路成功开通运营,只是我国高速铁

路和客运专线发展的一个良好开端。京津城际铁路一系列技术创新成果须尽快应用到高速铁路和客运专线建设、运营中,进一步缩短创新成果转化为现实生产力的周期,推进发达现代铁路网又好又快地建设,为经济与社会科学发展提供强有力的铁路交通支撑。

Science and technology innovations on Beijing–Tianjin inter-city railway

He Huawu

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

[**Abstract**] High speed railway is a complicated and enormous system. Beijing–Tianjin inter-city railway is the first high speed railway that has started commercial operation in China. There are significant innovations made on key technologies and four challenging issues including system design and integration, high track regularity and stability, high safety and riding comfort, reliable operational control and high efficiency. China Railways experienced three years to build Beijing–Tianjin inter-city railway. The operational performances of Beijing–Tianjin inter-city railway showed that the whole technology is ranking at the leading position in the world. The technologies are convincing exemplary demonstration and will be applied to build the high speed railway network in the future.

[**key words**] high speed railway; Beijing–Tianjin inter-city railway; innovations; exemplary demonstration