

高速动车组降阻与减重应用研发

丁 叁 叁

(南车青岛四方机车车辆股份有限公司 技术中心, 山东 青岛 266111)



摘 要:从减小列车运行阻力的目的出发,研究高速动车组气动设计以及轻量化设计的关键技术,通过对影响列车运行阻力的主要因素进行系统分析及优化,提出了高速动车组降噪减重的控制策略及具体措施。线路试验表明,相关措施有效降低了高速动车组的运行阻力,实现了速度提升、节能环保的目标,同时也提升了列车的动力学性能及综合舒适度。

关键词:高速动车组;降阻;减重;气动设计;气动阻力;轻量化

中图分类号:U292.91*4;U266.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-128X(2012)05-0010-07

作者简介:丁叁叁(1967-),男,博士,高级工程师,长期从事机车、地铁、动车组产品研发工作。

Application Development of High-speed EMUs Resistance Force Reduction and Weight Lightening

DING San-san

(Technology Center, CSR Qingdao Sifang Locomotive & Rolling Stock Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266111, China)

Abstract: For decreasing the train operation resistance force, key technologies of high-speed EMUs aero-dynamical design and light-weight design were studied. By the systematic analysis and optimization of the major factors to influence train operation resistance force, control scheme and practical measures were proposed for high-speed EMUs noise reduction and weight lightening. Line test showed that the provided measures reduced high-speed EMUs operation resistance force effectively, realized speed lifting, energy conservation and environmental protection, and improved train dynamics performance and synthetical comfort too.

Key words: high-speed EMUs; resistance force reduction; weight lightening; aero-dynamical design; aero-dynamical resistance force; light weight

0 引言

高速动车组设计是一项复杂的系统工程,速度提升要求在牵引功率与运行阻力、轴重、车体及转向架等部件的强度与振动特性等诸多方面进行系统匹配。由于受到轴重与空间等因素的限制,牵引功率的提升范围有限。研究高速动车组的气动设计及轻量化设计技术,减小列车运行阻力,成为高速列车设计的关键之一。

针对高速动车组的减阻降噪技术,世界各国都进行了大量的研究开发。在气动设计方面,新干线走了一条持续改进的道路。在车体断面形状设计上,由接近于直壁的0系、300系逐渐演化为椭球形状鼓形壁的500系、700系,流线化趋势愈加分明,气动外形也由简

单的借鉴,演化为自然流线的控制模式。ICE系列高速列车的气动设计理念显然不同于新干线,但其改进过程与之类似,主要对车体横截面和长细比进行优化,使车体强度、刚度增加,气动性能更加优良。法国高速列车在降低列车阻力方面,也采取了大量的措施,在头型长度和长细比方面,AGV的头部长由TGV-PSE的5.02 m增加到11.76 m,长细比由2.58增加到3.92,使长细比已经接近于4,这些措施都有效减小了列车的运行阻力^[1]。

在轻量化方面,世界主要的高速列车也都是不遗余力地进行了许多卓有成效的尝试。新干线通过一系列努力,使轴重从14 t降为11 t,实现了日本线路条件下300 km/h的突破。欧洲、韩国主要是在车体材料等方面进行了大量尝试,进行了碳纤维车体、铝蜂窝车体部件等轻量化试验工作,无一不是企图在轻量化技术上有所突破,打破轴重的现有约束^[2]。

收稿日期:2012-08-01

1 降阻与减重的控制策略

1.1 高速动车组运行阻力分析

列车的运行阻力,主要来自列车与线路、接触网、气流间的外界阻力以及轴承、齿轮等机械部件的内部摩擦阻力。如图1所示,由于弓网之间的摩擦力相对较小,列车运行中受到的外界阻力主要表现为轮轨间的蠕滑力和流固之间的摩擦力和压差力,其中,轮轨间的蠕滑力与列车机械部件的内部阻力统称为机械阻力,流固之间的摩擦力和压差力统称为气动阻力。

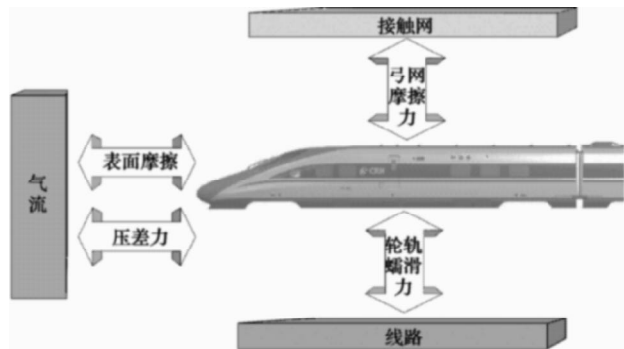


图 1 高速列车系统阻力分析

列车在无风环境,明线直线行驶时,阻力系数可表示为^[3]

$$F_{\text{Drag}}=a+bv+cv^2$$

式中： cv^2 主要与气动阻力相关； $a+bv$ 主要与机械阻力相关。

气动阻力主要受气动外形及表面平顺化等因素影响,机械阻力主要与轴重及摩擦系数有关。图2为CRH2型动车组惰行试验所获得的总阻力和气动阻力曲线。从图中可以看出,在350 km/h速度运行时,其总阻力比250 km/h速度下增长84.2%,其中气动阻力增量占总阻力增量的94.5%。随着速度的提高,高速列车运行过程中受到的阻力主要来自气动阻力^[4]。

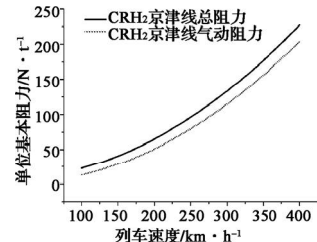


图 2 CRH2 型动车组惰行试验曲线

1.2 控制策略

高速动车组降阻、减重控制采用气动降阻和机械减重降阻相结合的原则,从优化气动外形设计减小空气阻力,降低轴重减小机械阻力两方面进行研究。图3为高速列车降阻、减重的控制策略。气动减阻是基于高速列车的空气动力学理论,结合整车的气动性能和设计要素的相关分析,从整车外形优化、车体表面的平顺化、气流的流动控制等方面进行研究。在进行气动减阻的同时,减小气动升力,减小交会压力波幅值及车内压力波动,提高乘客的综合舒适度。降低轴重是在保证结构强度和刚度以及振动性能的情况下,利用先进的仿真及试验方法,优化设计结构并选用轻质材料,进行车体、转向架等主要部件的轻量化,进而实

现整车的轻量化设计。

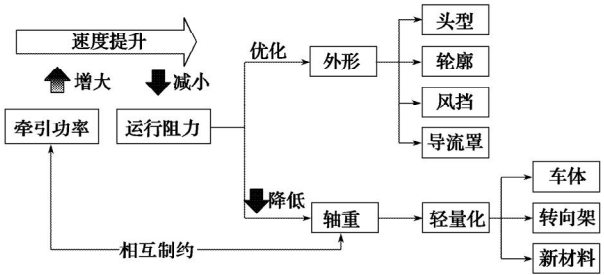


图 3 高速列车降阻与减重的控制策略

2 降阻与减重措施

2.1 气动减阻

高速动车组运行速度已超过300 km/h,接近飞行器起飞速度,具有飞行器的许多气动特征,但高速动车组需在地面高湍流度环境下双向运行,多体连接,地面效应、交会压力波和隧道效应成为区别于飞行器气动设计的显著特点,如何在保证列车运行安全性的同时降低气动阻力成为气动设计的首要问题之一。同时,高速动车组的大长细比复杂三维特征也使得其气动外形的优化设计方向明显不同于飞行器气动设计。高速动车组气动降阻设计,必须以保证列车运行的安全性为前提,通过列车整体外形的参数设计优化,兼顾局部流场控制,达到有效降低运行阻力的目的。

2.1.1 整体外形优化

高速动车组外形具有复杂三维特征,需要考虑的气动性能参数众多,如图4所示。动车组气动性能与设计要素之间的关系错综复杂,不同气动性能对外型设计要素的要求相互关联、相互制约。降低气动阻力需要同时兼顾其他气动性能参数。如何综合评价众多设计目标,合理分配设计余量,做到多学科、多目标优化变得尤为关键。

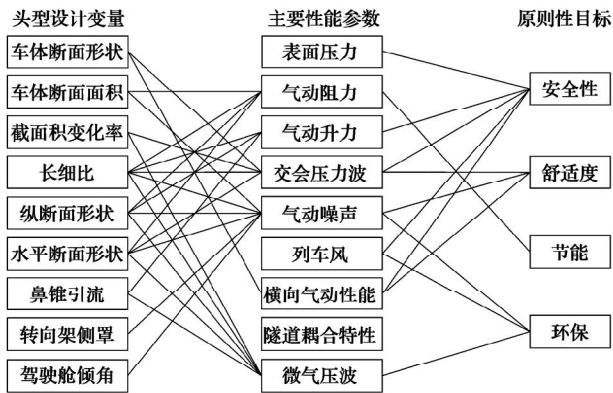


图 4 列车设计参数与气动性能对应关系图

以长细比和车体断面为例,适当增大长细比可以有效降低列车气动阻力,同时可以降低交会压力波,改善隧道耦合性能,改善列车综合空气动力学性能。图5为不同流线型长度列车的气动阻力系数对比,从图中可见,在断面面积基本不变的情况下,流线型长度增加意味着长细比增大,但长细比对于气动降阻的效果逐渐

减小,存在拐点。同时,流线型头部长度每增加1 m,座椅将减少1排,为满足客室净空间及司机室视野的要求,长细比不宜无限增加。列车断面面积和所受的气动阻力直接相关,断面面积增大同时意味着车体表面积增大,会增大气动摩擦阻力。因此,从减阻的角度考虑,需要减小断面面积,但若过度减小截面面积,将减小车内净空间,对乘坐舒适度造成影响,因此,气动设计的优化就是需要在各种因素与性能之间进行多目标的平衡。

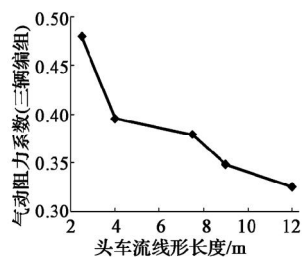


图5 气动阻力系数与流线型长度关系

CRH380A型及更高速度等级高速动车组气动外形设计,采用局部型函数参数化方法对气动外形进行参数化处理,用神经网络响应面方法简化模型,运用遗传优化算法进行优化,并通过数值仿真和风洞试验循环反馈进行充分的性能验证。如图6、图7所示,在CRH380A动车组断面面积基本不变的情况下,增加流线型长度,长细比提高,气动阻力和气动噪声显著降低(见图8)。更高速度等级试验列车的设计主要目标在于减阻,设计中进一步减小断面面积,降低气动摩擦阻力,同时长细比进一步提高,整车气动阻力也将进一步降低。

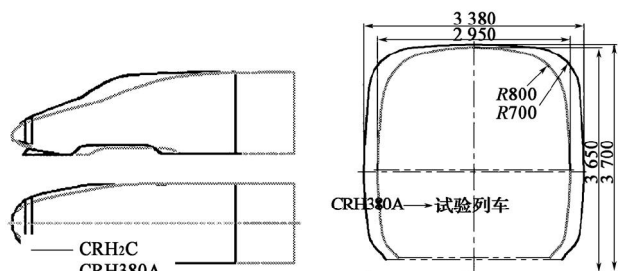


图6 CRH2C/CRH380A外形对比 图7 CRH380A/更高速度等级试验列车断面对比

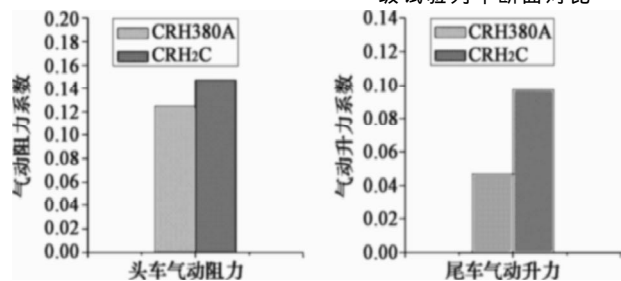
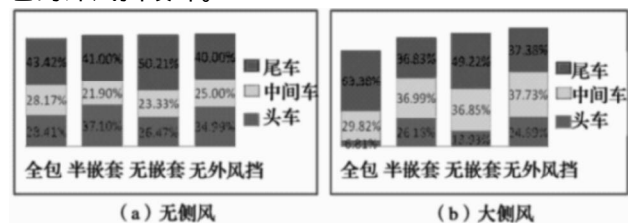


图8 CRH2C/CRH380A气动性能对比

2.1.2 车体表面平顺化设计

列车高速运行中,气流经过鼻锥导流,一部分流经车顶、侧墙,通过风挡和受电弓导流罩等车上设备;一部分流向车体下部,由排障器导流至列车侧后,并与部分经车体侧墙向下流动的气流汇合,流经转向架。车体表面设备繁多,外形复杂,如果表面平顺化处理不好,会在车体表面形成大量涡旋,在风挡、受电弓、转向架等处的流场已完全转换为湍流流场,其产生的列车气动阻力和噪声是列车气动阻力和噪声的重要组成部分。

对于车端连接部的风挡,有全包、半嵌套、无风挡等措施。研究发现,无侧风工况下,风挡的形式对降低整列车阻力作用不大,更多的是改变了各车的阻力分布状况。而在侧风工况下,全风挡可以有效降低整列车的气动阻力,如图9所示,3车编组列车相比无外风挡工况,整车阻力降低约20%。综合考虑设备检修和降阻等实际效果,CRH380A高速动车组采用了半包的外风挡形式(见图10),而更高速度等级列车则采用全包的外风挡设计。



(a) 无侧风 (b) 大侧风
图9 不同工况下外风挡对气动阻力贡献

受电弓导流罩主要用来减少由集电系统产生的气动噪声并降低气动阻力。要降低该部位的气动噪声,就需要减少气流与弓网装置的扰动,从设计上,需要设置导流罩将气流引导至集电系统及上部,但如此设计从气动阻力的角度分析,则增加了列车的迎风面积,也破坏了车体表面的平顺化,这些都会增加列车的气动阻力和噪声。通过仿真和试验分析发现,导流罩的迎风面积或者高度越小,对车体平顺化的影响越小,产生的气动阻力也相应减小,但是过低的导流罩设计不利于声场的分布,影响降噪效果,需要在两者之间进行权衡。为此,设计了各种形式的导流罩,从降低阻力和噪声的目标出发进行优化,从中优选出CRH380A的导流罩。该设计对集电系统的流场进行整流处理,一定程度减小了湍流强度,

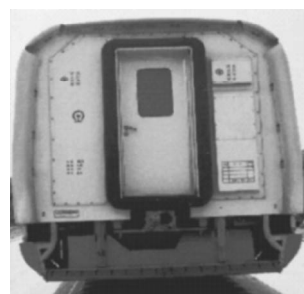
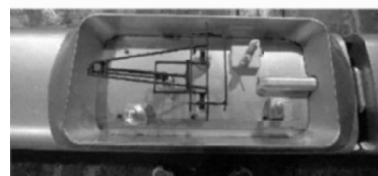


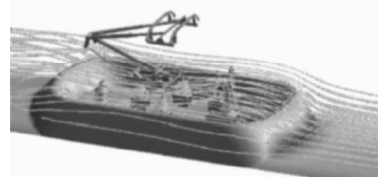
图10 CRH380A实车外风挡



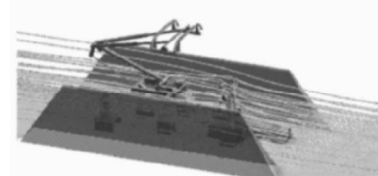
(a) 前期导流罩



(b) CRH380A导流罩



(c) 前期导流罩流场

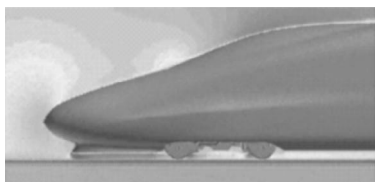


(d) CRH380A导流罩流场

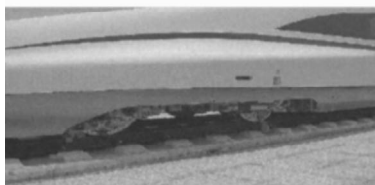
图11 导流罩效果分析对比

并且有效降低了车外噪声(其效果对比见图11)。

转向架部位的气流卷入是转向架凹槽内产生涡流的主要原因,气流流经凹槽产生的涡旋容易卷起轨道附近质量较小的道砟冲击车体,对列车转向架和裙板造成破坏。在转向架部位加设转向架侧罩,可以避免大部分气流流入车底设备区域,降低转向架附近涡旋强度,减小压力脉动,降低气动噪声源强度和气动阻力。转向架侧罩外形设计应与车体外表面设计一体化考虑,使附近流场均匀,避免气流在流经转向架侧罩后发生流动分离,产生新的涡流。研究表明,合理设置转向架侧罩,与对该部位不做处理相比,可使单车气动阻力降低约3%~5%,减阻效果非常明显。



(a) 转向架部位压力云图



(b) CRH380A 转向架侧罩

图12 转向架侧罩设计

都进行了平顺化下沉处理,使车体外表面平顺化程度更加理想,这些措施都对气动减阻、降噪非常有利。

2.1.3 流动控制

流动控制是流体力学的分支,也是流体力学研究的前沿课题。它主要分为主动控制和被动控制技术。目前比较流行的流动控制方法有:涡流发生器、沟槽减阻、吹吸气/射流、仿生推进法等^[5-8]。为进一步提升高速列车的气动性能,对各种流动控制减阻降噪技术在车体上的应用进行了初步探索。

沟槽表面减阻技术起源于仿生学对鲨鱼等鱼类表皮的研究,鲨鱼皮上的鳞脊可以使附面层稳定,减小快速游动阻力,进而通过在航行体外表面加工具有一定形状尺寸的沟槽结构,能达到很好的减阻效果(如图13所示)。

空中客车将A320试验机约70%的外表面贴

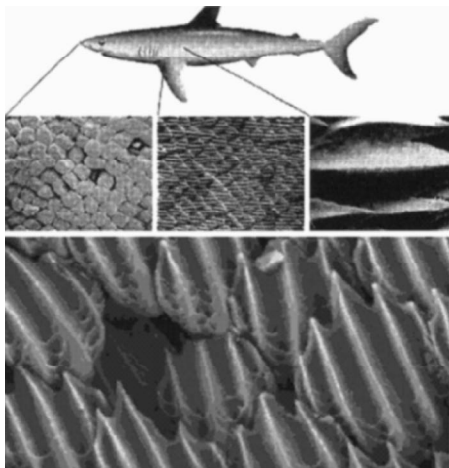


图13 鲨鱼表皮沟槽表面及局部放大示意图

上沟槽薄膜,获得了1%~2%的节油效果;国际泳衣品牌Speedo公司生产了具有沟槽表面的减阻泳衣,水下阻力减小了3%~5%。

针对高速列车双向运行、细长体、尾部有较大的流动分离区等特点,结合工程实施的可行性,研究利用沟槽抑制车体表面附面层增长,减小车体表面摩擦阻力、控制尾部气流分离,以减小列车的气动阻力。对具有不同形式沟槽的平板进行空气动力学计算分析和风洞试验,研究不同形式的沟槽对降低摩擦阻力的效果。研究表明,不同尺寸的沟槽减阻效果差别很大(1%~20%),如图14所示,不同的速度等级和外形,由于附面层分布存在差异对沟槽的结构尺寸要求大不相同,通过对典型工况和外形的分析,选择几种特定结构进行试验,利用沟槽减阻技术,可降低列车气动阻力2%~4%。

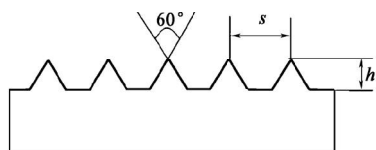


图14 沟槽截面形状

头、尾车吹吸气减阻技术主要是通过改变车体表面的附面层分布达到减阻降噪的目的。在仿真研究过程中分别选择头、尾车的典型位置进行吹、吸气计算,分析对列车减阻的贡献。如图15所示,分析表明,头、尾车吸气对附面层分布优化贡献较小,均没有显著减阻效果,而头车吹气减阻效果明显,且吹气速度越大减阻效果越好,对尾车位置4、5吹气有减阻效果约3%左右。综合工程可行性,考虑未来在尾车位置4、5进行吹气装置设计。

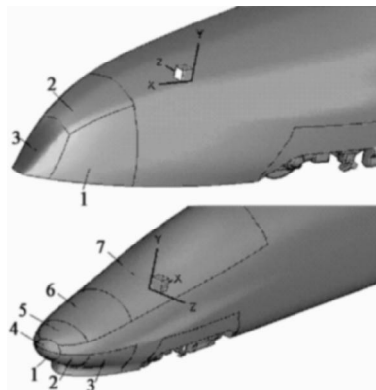


图15 头车尾车吹气、吸气位置

借鉴在航空航天领域广泛应用的涡流发生器,在尾车安装类似装置进行减阻研究。图16为带有球状扰流器的列车外形设计,计算发现,扰流器对尾车减阻有一定的效果,且其尺寸越大减阻效果越好。

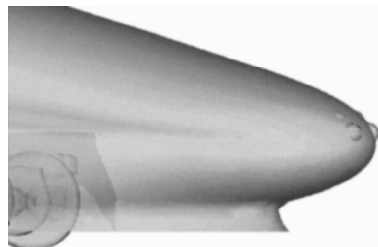


图16 带有球状扰流器的列车计算模型

通过研究,各种流动控制技术都有一定的减阻效果,需要进一步研究其在高速列车上的工程应用,尽快实现跨界移植。

2.2 轻量化设计

高速动车组的轻量化设计不仅可以减少用材降低

制造成本,更重要的是通过减小机械阻力,达到提高牵引加速能力和节能环保的目的,此外还可以减小轮轨的相互作用,降低车辆和轨道的维护成本。高速列车的车体和转向架占整个列车质量的大部分,因此实现车辆结构轻量化的途径自然离不开车体和转向架的轻量化,同时,车上各部件的新材料应用也是实现轻量化的关键技术。

2.2.1 车体轻量化

高速、舒适、安全、可靠及结构的轻量化是高速动车组车体设计的主要目标,车体结构的轻量化与提高其强度、刚度和自振频率相互矛盾,过高的刚度要求会制约结构的轻量化设计。因此,车体结构设计必须在满足现代车辆设计标准规定的条件下,对车体强度、刚度、自振频率和轻量化予以综合协调。

CRH₂型动车组车体为实现轻量化目标,采用了大断面、超薄中空、通长铝合金型材焊接的整体承载结构,具有等刚度的特点,在保证车体较大刚度的同时,轻量化优点突出。适应速度明线350 km/h、隧道内交会250 km/h的运用要求,CRH380A动车组速度提升至350 km/h、轴重增至15 t,气密强度大幅度增加,对车体的强度、刚度都提出更高要求。通过大量仿真计算与线路试验,研究制定了中国高速条件下轻量化车体的主要设计目标:车体强度满足EN 12663,气密强度满足 $\pm 6\,000\text{ Pa}$,车体一阶弯曲振动频率大于10 Hz,车体结构体质量小于 $8.5\text{ t}^{[8-9]}$ 。

为实现这一设计目标,采用分层次分模块的等强度柔性化设计理念,将车体分为整体结构优化、断面结构优化和车体部件结构优化3部分。车体主体结构仍采用大断面、超薄中空、通长铝合金中空型材焊接的整体承载结构。从断面的结构优化而言,为了提高车体刚度和气密强度,采用了一系列减少应力集中、提高承载能力的措施:侧顶圆弧由R400mm加大到R700 mm,侧顶型材断面加大并进行变截面设计,并根据应力分布情况,将型材接缝重新分割优化,改进前后对比见图17。车体部件的结构优化包括:外端墙、气密隔墙、侧墙门区结构采用中空型材结构;地板与边梁采用高强度设计;司机室骨架及蒙皮结构优化。

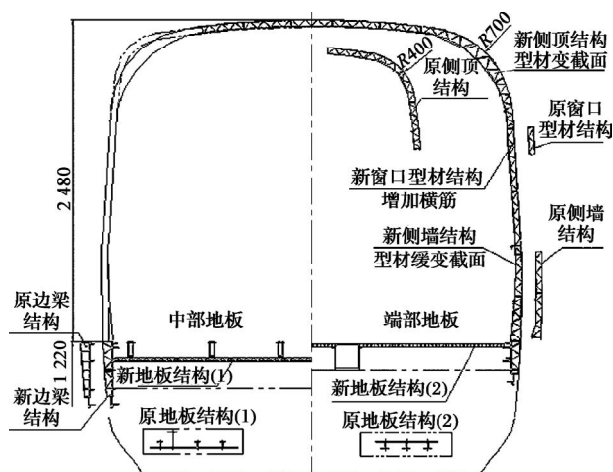


图 17 车体断面改进前后对比图

车体设计离不开先进的仿真与试验方法,为了优化车体振动特性,运用系统分析方法,将车体、转向架、钢轨等线路耦合系统统一考虑,建立一体化的振动分析模型(见图18),从大系统耦合的角度分析车体的振动特性。京津、武

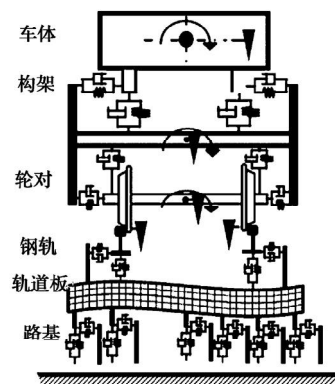


图 18 车辆振动系统

广等线路大量的实车试验,获得典型无砟轨道实测轨道谱和车辆振动响应特征作为计算仿真的边界输入,设计中,通过对车体及车下设备等的模态参数进行优化控制。为提高计算精度,减少对计算资源的要求,基于虚拟激励法,对车体弹性体、车体局部结构及附属设备的随机振动特性进行分析。根据承载和振动特性,优化地板、端墙、门区并采用中空型材结构,合理匹配车体局部与整体模态参数,并通过增加型材内敷减振材料使用范围、优化结构表面阻尼浆的喷涂、优化车体局部与内装连接刚度和阻尼,减小结构振动和局部振动,降低结构噪声。

试验表明,与原型车车体相比,CRH380A车体重量仅增加约6%,车体整体和局部刚度大幅度提高。车体结构模态的一阶垂向弯曲频率提高9.5%,气密强度提高50%,型材地板一阶固有频率提高了11.2%,地板平均隔声提高约5 dB(A)。车体、转向架与轨道之间模态匹配良好,动力学性能和舒适度都显著提高,结构改进效果明显。

2.2.2 转向架轻量化

转向架是决定车辆走行性能及乘坐舒适度的重要子系统,其质量为7~10 t,2台转向架约占整车质量的1/3,转向架轻量化是实现整车轻量化的关键。然而,转向架作为走行关键承载部件,其结构安全性、系统刚度匹配性又与轻量化相制约。高速列车设计过程中以稳定、可靠、安全、舒适为目标,从高速列车大系统耦合动力学角度,不同簧下质量对轨道沉降和轴重减载率有不同影响(见图19),以减小轴重、降低簧下质量为原则

Figure 19 consists of two line graphs. The top graph plots '轨道下沉量/mm' (Track settlement/mm) on the y-axis (0 to 30) against '运行速度/km·h⁻¹' (Running speed/km·h⁻¹) on the x-axis (50 to 500). It shows three curves for different sprung masses: 1.5t (solid line), 2t (dashed line), and 2.5t (dotted line). All curves show an upward trend, with the 2.5t curve being the highest and the 1.5t curve being the lowest. The bottom graph plots '轮重减载率' (Axle load reduction rate) on the y-axis (0.00 to 1.20) against '运行速度/km·h⁻¹' on the x-axis (50 to 500). It also shows three curves for 1.5t, 2t, and 2.5t. The curves show an upward trend, with the 2.5t curve being the highest and the 1.5t curve being the lowest.

运行速度/km·h ⁻¹	1.5t 轨道下沉量/mm	2t 轨道下沉量/mm	2.5t 轨道下沉量/mm	1.5t 轮重减载率	2t 轮重减载率	2.5t 轮重减载率
50	2.5	2.8	3.2	0.15	0.18	0.22
100	3.5	4.0	4.5	0.20	0.25	0.30
150	4.5	5.2	5.8	0.25	0.32	0.38
200	5.5	6.5	7.2	0.30	0.40	0.45
250	7.0	8.0	8.8	0.40	0.50	0.55
300	8.5	9.5	10.5	0.50	0.60	0.65
350	10.0	11.0	12.2	0.60	0.70	0.75
400	12.0	13.0	14.5	0.70	0.80	0.85
450	14.0	15.5	17.0	0.80	0.90	0.95
500	16.0	18.0	20.0	0.90	1.00	1.05

图 19 不同簧下质量对轨道下沉量及轮重减载率的影响

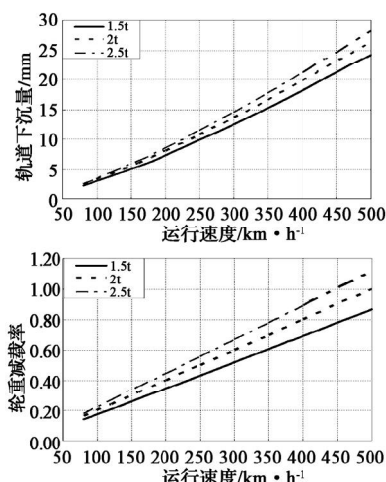


图 19 不同簧下质量对轨道下沉量及轮重减载率的影响

簧间质量进行轻量化设计。

簧下质量占转向架质量的1/2 ,是影响轨道下沉量和轮重减载率的重要指标。研究表明 ,随着列车运行速度的提高 ,较大的簧下质量将使轨道下沉量加剧而增大线路维护保养成本 ,同时使车辆的轮重减载率增大而降低脱轨安全性。

高速列车簧下部件主要包括轮对、轴箱及齿轮箱 ,轻量化设计要在动力学、强度及工艺可行性间进行平衡(见图20) ,以空心车轴、小直径车轮等优化措施为例 ,其在设计过程中以重量和强度安全系数为目标进行多轴疲劳评估下的优化设计 ,另一方面建立了由车辆/轨道耦合动力学模拟、轮轨滚动接触分析、轮轨材料磨损模型几个部分构成的轮对磨损分析模型进行结构优选。从材料上开展高强铝合金的应用 ,在坯料设计、预锻分料、终锻控制及加工精度线性控制方面结合仿真和工艺试验进行多次优化 ,克服了转向架结构复杂形状的精锻成型及厚壁结构的热处理固溶工艺及加工工艺问题 ,实现轴箱体及齿轮箱体的轻量化。



图 20 高速转向架簧下质量轻量化措施及效果

转向架簧间部分质量对动力学的影响不如簧下部分明显 ,其轻量化目的主要在于减轻轴重。对于构架的轻量化设计要兼顾结构强度和刚度匹配 ,传统构架设计为基于标准的静强度和疲劳强度设计 ,在新一代高速动车组设计过程中 ,建立了刚柔耦合系统动力学模型分析构架柔性条件下的动力学响应 ,采用应变能指标作为构架整体受力状态的表征量 ,研究高速运行条件下构架弹性变形及损伤 ,基于此开展构架结构的优化设计。另一方面 ,集成式基础制动装置、永磁电机技术的应用也为高速列车簧间质量的轻量化提供了更广阔的空间。上述轻量化设计成果在产品上的效果见图21。

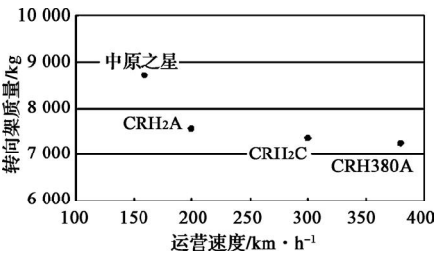


图 21 高速转向架轻量化设计成果

2.2.3 新材料应用

新材料按材料的属性分为金属材料、无机非金属材料(如陶瓷、砷化镓半导体等)、有机高分子材料、复合材料四大类。由于新材料具有比传统材料更为优异的性能 ,被广泛应用于机械、电子、能源及交通运输等领域。在保证结构强度和刚度的前提下 ,研究适合车上应用的轻质新材料、新结构是高速列车实现轻量化的重要手段。目前 ,在高速动车组上进行应用研究的新材料主要有镁合金、铝蜂窝、纸蜂窝、碳纤维、泡沫铝等^[2] ,如图22所示。

镁的质量密度相当于钢的1/4 ,铝的2/3 ,但强度高于铝合金和钢 ,刚度接近铝合金和钢。镁合金材料由于其强度高、刚度大、重量轻、阻尼性好和易切削加工等特点已经被广泛应用于航天、汽车等领域 ,在高速列车的应用主要有行李架、座椅等部位。

铝蜂窝材料是一种轻型的复合材料 ,其质量密度是木板的1/5 ,铝材的1/7 ,比强度大、比刚度高 ,且防火性能优良 ,目前被广泛应用于高速列车的地板、内端、端部间壁等部位。

作为本世纪发展最迅速的新材料之一 ,纸蜂窝纤维预浸复合材料可以根据需要 ,组成相对复杂的曲面 ,并且具有高比强度、高比刚度、结构稳定、较好的结构阻尼性、良好成型工艺性等优点 ,在高速列车上具有广泛的应用前景。目前 ,高速列车的顶板、侧顶板等部位采用了纸蜂窝的结构。

碳纤维是一种力学性能优异的新材料 ,它的质量密度不到钢的1/4 ,碳纤维树脂复合材料抗拉强度一般都在3 500 MPa以上 ,是钢的7~9倍 ,抗拉弹性模量

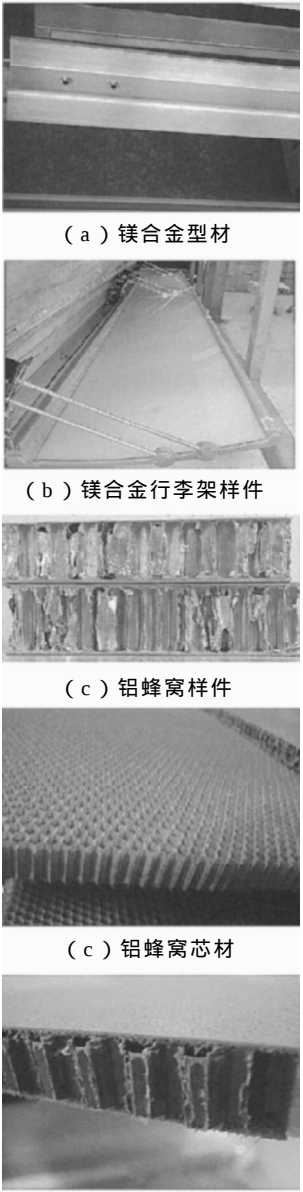


图 22 各种新材料样件

为23 000~43 000 MPa,亦高于钢。碳纤维由于其“轻而硬”、“轻而强”的特点被广泛应用于各个领域。目前,国内碳纤维产业发展迅速,技术日臻成熟,在更高速度等级列车的开闭罩等部位已开始试用碳纤维结构,较传统玻璃钢结构,其重量减轻约1/3,强度提高1倍以上。

新材料的发展和应用推动了高速列车的技术发展,由于产业规模、结构适应性、成型加工工艺及成本等多种因素制约,新材料的工程化进度相对滞后。随着科技的进步,加工设备的大型化、高效化、智能化不断发展,新材料以及新结构在高速列车的应用会越来越广泛。

3 试验与结论

高速动车组的降阻、减重是实现速度提升的关键技术。设计中,采用了气动降阻和机械减重降阻相结合的原则:从整车外形优化、车体表面平顺化、气流的流动控制等方面进行研究,以减小气动阻力;从车体、转向架等部件的轻量化及新材料应用进行研究,实现整车的轻量化,以减小机械阻力。试验表明,与CRH₂型动车组相比CRH380A头车阻力降低15.4%,8编组整车气动阻力降低约5%,车体表面噪声降低了7%,列车动力学和综合舒适度指标优良。高速动车组的降阻减重措施不仅降低了运行阻力,实现了速度提升的目标,而且同时提高了乘客的综合舒适度,满足行车安全以

及节能环保的最终要求。

参考文献:

- [1] 南车青岛四方机车车辆股份有限公司(南方). 高速动车组头型技术分析报告[R]. 青岛:南车青岛四方机车车辆股份有限公司高速列车系统集成国家工程实验室(南方), 2010.
- [2] 南车青岛四方机车车辆股份有限公司. 和谐号CRH₆型城际动车组车内结构轻量化技术分析[R]. 青岛:南车青岛四方机车车辆股份有限公司, 2011.
- [3] Joseph A Schetz. Aerodynamics of High-speed Train[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 2001 (33): 371-414.
- [4] 南车青岛四方机车车辆股份有限公司. 武广客运专线气动效应试验研究报告[R]. 成都:西南交通大学牵引动力国家重点实验室, 2009.
- [5] 王子延, 庞俊国. 细薄肋型减阻沟纹湍流减阻特性的实验研究[J]. 西安交通大学学报, 1999, 33(1): 35-38.
- [6] 丛 茜, 封 云. 三角形沟槽表面流场的数值模拟[J]. 船舶力学, 2006, 10(5): 11-16.
- [7] 宫武旗, 李新宏, 黄淑娟. 棱纹壁面减阻机理实验研究[J]. 工程热物理学报, 2002, 23(5): 579-582.
- [8] 王晋军, 李亚臣. 棱纹面三角翼减阻特性实验研究[J]. 空气动力学学报, 2001, 9(3): 283-287.
- [9] 西南交通大学. 武广客运专线联调联试及试运行试验噪声、模态、振动试验报告[R]. 成都:西南交通大学牵引动力国家重点实验室, 2009.

(2012轨道电力牵引技术创新论坛主题论文)

(上接第4页)

基础设施等整体的智能化^[8]。

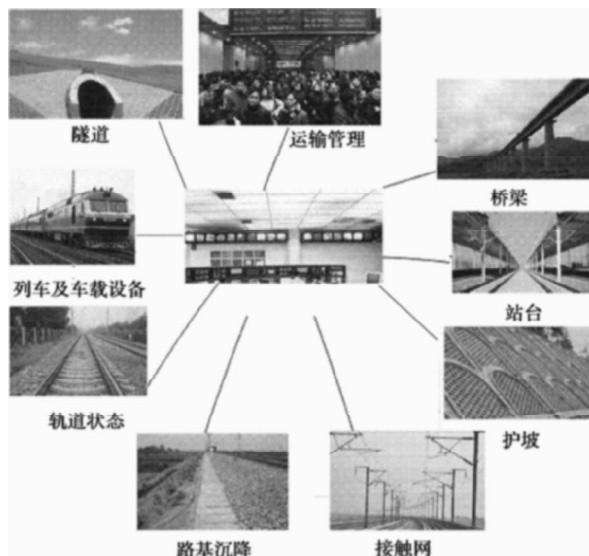


图4 轨道交通的智能化

6 结语

客运专线和城轨交通的蓬勃发展为装备智能化提供了市场支撑,物联网、云计算等技术的日益成熟为装备智能化提供了技术支持,装备智能化以及交通系统智能化将是大势所趋。智能化的终极技术在于模型计算,智能化的终极目标在于高效服务。中国轨道交

通从低速普载向高速重载的发展,取得了举世瞩目的成就,在从高速重载向绿色智能的发展上,通过国家的总体规划和组织,企业、科研院所和高校的共同努力下,也必将取得辉煌的成绩。

参考文献:

- [1] 路向阳. 列车通信网络的发展与应用综述[J]. 机车电传动, 2002(1): 5-9.
- [2] Luigi Atzori, Antonio Iera, Giacomo Morabito. The Internet of Things[EB/OL]. [2012-07-19]. <http://himalayas.u-aizu.ac.jp/IoT/survey/atzori-iotsurvey.pdf>.
- [3] IEC 61375-1: Train Communication Network, Part 1: General Architecture[EB/OL]. [2012-07-20]. http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/Artnum_PK/46576.
- [4] IEC 61375-3-4: Train Communication Network, Part 3-4: Ethernet Train Consist Network [EB/OL]. [2012-07-19]. www.iec.ch.
- [5] Devices Profile for Web Service Version 1.1 [EB/OL]. [2012-07-18]. <http://docs.oasis-open.org/ws-dd/dpws/1.1/os/wssdd-dpws-1.1-spec-os.pdf>.
- [6] InteGRail Introductions [EB/OL]. [2012-07-18]. <http://www.integrail.info/>.
- [7] UNIFE Annual Report[EB/OL]. [2012-07-18]. [http://www.unife.org/uploads/UNIFE_Annual_Report_2011_\(1\).pdf](http://www.unife.org/uploads/UNIFE_Annual_Report_2011_(1).pdf).
- [8] 杨 燕, 朱 炎, 戴 齐, 李天瑞. 智慧轨道交通-实现更深入的智能化[J]. 计算机应用, 2012, 32(5): 1205-1207.

(2012轨道电力牵引技术创新论坛主题论文)