

文章编号:1005-0523(2014)02-0001-08

高速列车头型数值设计优化研究现状与展望

赵怀瑞¹,李 萍¹,杨富超²

(1.华东交通大学轨道交通学院现代轨道车辆研究所,江西 南昌 330013;

2.河南机电高等专科学校机电工程系,河南 新乡 453002)

摘要:基于试验的传统列车头型设计方法通过对比从有限设计方案中寻优,并非真正意义上的优化。联合CFD仿真和优化算法进行列车头型设计优化,是列车设计研究的一个新方向。从设计方法、参数化建模以及计算策略等4个方面综述了国内外高速列车外形数值设计优化的研究现状,指出高速列车头型设计的发展趋势,即向与建筑物耦合设计、谱系化设计、多学科设计、全寿命周期设计及随机设计5个方向发展。我国列车运行速度不断提高,需要设计运行安全、高效与环境友好的高速列车头型,发展能广泛应用、高效可靠的列车头型设计理论与方法,建立高速列车头型设计技术规范 and 标准体系。

关键词:高速列车;头型;设计优化;空气动力学

中图分类号:U238

文献标志码:A

随着列车不断提速,列车空气动力学问题诸如:空气阻力、隧道微气压波和横风安全性等也日益突出^[1]。虽然这些问题与诸多因素有关,但从车辆气动外形设计的观点分析,这些问题都与列车头部形状有密切的关系^[2-3]。因此,如何设计综合气动性能优良的列车头型,从而有效地降低空气动力学现象对列车运行和周围环境的影响,是高速列车设计中的一个重要研究课题。

列车空气动力学问题非常复杂,加之理论与计算资源的不足,试验成为人们最初进行列车头型与气动设计的唯一选择。在铁路技术一向发达的日本与德国,研究人员开展了广泛的外形试验研究^[4-8],并在试验研究的基础上对列车外形进行设计与优化^[9-11]。我国在铁路提速及高速动车组上线以来,也进行了大量的试验研究^[12-13],并设计出了一系列气动性能良好的列车外形^[14-15]。基于试验的外形设计与优化,都需要事先由研究人员根据经验设计出系列方案,然后通过对比从有限方案中寻优,因此只是方案对比,而非真正严格意义上优化。随着计算流体力学(computational fluid dynamics, CFD)和计算机技术的发展,学者们开始尝试着把CFD和优化算法联合起来进行高速列车头型设计优化。自1997年Iida^[16]研究报道以来,高速列车头型数值设计优化已成为高速列车研究领域中的一个前沿课题。

文章对国内外高速列车头型数值设计优化的研究现状进行综述,并结合现代高速列车设计的发展方向对未来研究趋势进行展望,以期为我国高速列车头型设计提供建议和参考。

1 研究现状

1.1 设计方法

联合CFD与优化算法进行结构外形设计优化的一般方法与流程如图1所示。首先,选择外形设计优化参数,并进行参数化建模。然后,对列车周围的流场进行CFD计算,并判断目标函数值是否收敛,如果收敛

收稿日期:2013-10-20

基金项目:973计划项目(2011CB711100);华东交通大学博士启动基金(09132009)

作者简介:赵怀瑞(1977—),男,讲师,博士,主要研究方向为高速列车空气动力学、结构疲劳。

则设计结束;否则,更新设计参数,重新上述过程,直至收敛。

空气动力学为非线性问题,且列车编组运行,其流场计算与优化需要巨大的计算资源,如何降低对计算资源的需求则成为列车外形数值设计的关键。Bel-lenoue等^[17]根据过隧道时气动性能的一维特性,给出了列车头型设计优化两步法:首先,采用轴对称模型获得列车过隧道时气动性能(微气压波)良好的头型横截面轮廓;然后,以气动阻力与横风安全性为目标函数对三维头型(以上述轴对称轮廓为基础)进行优化。Ku^[18]等根据上述“两步法设计”思想,在获得性能良好的横截面轮廓后,利用车辆模型函数(1)建立了高速列车外形的三维模型并进行优化,以降低列车过隧道时微气压波效应与气动阻力。

$$Z(x) = \frac{H}{L^{A_1+A_2}}(x-x_p)^{A_1} \left[2L - (x-x_p) \right]^{A_2} + z_p \quad (1)$$

其中: $Z(x)$ 为轮廓上点的坐标; x_p, z_p 是起始点坐标; L, H 为列车长度和高度; A_1, A_2 为头型钝性相关的参数。

Kwon^[19]采用“试验设计+近似模型”的策略对列车外形进行设计优化,如图2所示。利用D-optimal(D-最优)试验设计方法获得设计空间中具有代表性的样本点 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$, 并利用CFD仿真获得响应值 $y_i (i=1, 2, \dots, n)$, 然后利用样本点对 $\{(x_i, y_i) | i=1, 2, \dots, n\}$ 构建近似模型(RSM)来代替实际的CFD仿真计算,从而大大降低了列车头型设计优化对计算资源的需求,提高了设计效率。

列车头型数值设计优化会牵涉到不同的专业软件或学科。为将所有的设计环节组织到一个统一、有机和逻辑的框架中,瑞典庞巴迪公司^[20]在modelFrontier平台下进行Zefiro列车外形设计优化,并最终获得气动性能良好的系列外形。VYTLA^[21]在Matlab环境下搭建了多学科设计优化(MDO)平台,并对高速列车外形进行MDO。

1.2 参数化建模方法

对于高速列车头型的数值优化,如何准确地定义模型设计空间,且当设计参数变化时自动、快速地建立、更改模型,是研究者首先关注的问题。

实际工程中,模型的建立与快速更改是通过参数化来实现的。Iida^[16]建立了二维头型的2参数表达式(2),并通过修改形状控制参数 a_1, a_2 来获得不同的头型方案。

$$\frac{A(x)}{\pi b^2} = (1-a_2) \left[(1-a_1) \frac{x}{a} + a_1 \sqrt{\frac{x}{a}} \right] + a_2 \left(\frac{x}{a} \right)^2 \quad (2)$$

其中: $A(x)$ 为 x 处纵剖面面积; x 为到头部的距离; a 头车长度; b 头车高度; a_1, a_2 为形状控制参数。

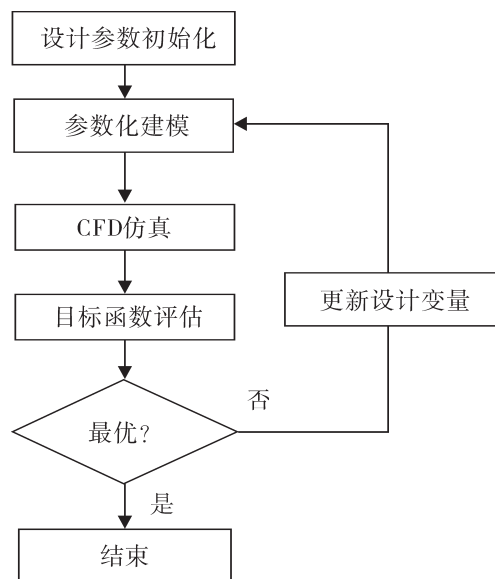


图1 一般设计流程

Fig. 1 General design flow

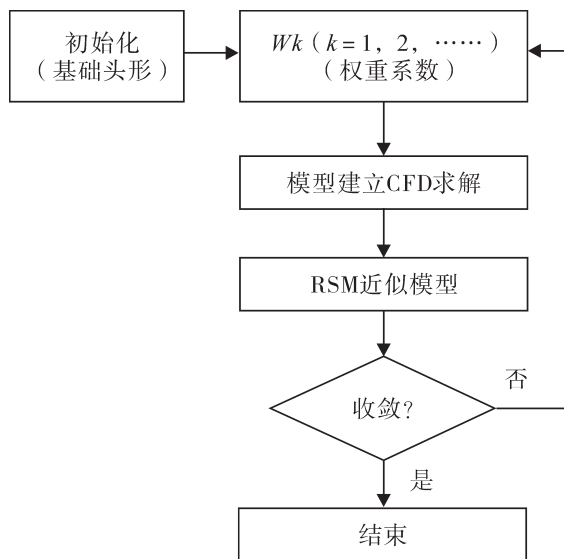


图2 基于RSM的外形设计流程

Fig. 2 Flow chart of nose shape design based on RSM

Lorriaux^[22]和 Vytla^[23]等将二维列车头型简化为由5个参数控制的两段椭圆弧(图3),其中 a 、 b 为长度参数, c 为鼻部高度参数, θ_i 、 θ_b 头型角度控制参数。

为获得更一般的设计空间,在IIDA模型基础上,KWON^[24-25]引入希克斯-亨内(Hicks-Henne)外形函数(4),结果比较表明利用上述设计空间所获得头型优化方案比IIDA方案气动性能更好。

$$Y(x) = Y_{\text{base}}(x) + \sum_{i=1}^n W_i F_i \quad (4)$$

其中: $Y(x)$ 为轮廓线 x 处的纵坐标, $Y_{\text{base}}(x)$ 为基础形状 x 处的纵坐标, F_i 为形状函数, W_i 为权重系数。

我国在列车外形参数化建模方面也做了不少工作。徐趁肖^[26]应用近代复变三角插值共形映射理论和法线迭代收敛方法及三次样条插值对流线化三维高速列车头型曲面的统一数学描述,实现了高速列车头型给定工程精度要求下的数学建模。梁习锋,吴学忠^[27]采用NURBs曲线生成控制型线,使用相关数算法自动生成Coons曲面,并编制了具有良好动态修改功能的高速列车外形设计软件。缪炳荣^[28],王文涛^[29]在Visual C++编程环境下,分别以AutoCAD 2000、SolidWork平台,开发了高速列车头型参数化CAD系统。

上述研究都是基于几何参数化的,即当设计参数变化时,先修改几何模型,再对几何模型进行相应地网格划分,所以效率不是很高。为此,S Krajnovic^[22],SUN ZhenXu^[30]借助网格修改软件SCULPTOR建立了列车外形的网格参数化模型,当设计参数变化时,直接对网格模型进行局部修改或重画,从而显著地提高了设计效率。网格参数化是基于网格的局部修改与重画,它的缺点是当设计变量变化范围比较大时,可能导致网格质量变差或者划分失败。

1.3 计算策略

国内外目前常用做法是采用近似模型(metamodel,也称代理模型)来代替大量的CFD仿真计算,以降低了列车头型设计对计算资源的需求。近似模型是利用已知点的信息来预测未知点响应值的一类关系式模型,因此在构建近似模型时,合理选取这些“已知点”就显得至关重要了。研究人员大都采用“试验设计+近似模型”的设计策略,利用试验设计选取设计空间中具有代表性的样本点,然后通过CFD仿真获得相应的响应值来构造近似模型。

Krajnovic^[25]利用面心立方设计(faced centered composite design)产生二次响应面近似模型的样本点,发现随着设计变量的增加,样本点的数目也迅速增加。

Kwon^[26]利用D-最优(D-optimal)试验设计方法获得样本点,并构造二次响应面近似模型来对列车外形进行优化。结果表明,与其它试验设计方法相比,D-最优更适合设计空间不规则的优化问题,需要样本点数也少。

为获得设计空间中分布均匀性较好的样本点,Vytla^[23]采用拉丁超立方采样(latin hypercube sampling)方法产生样本点,并通过构造Kriging近似模型对高速列车头型进行多目标优化,以减低列车的气动阻力与噪声。

Lee^[31]联合欧文随机正交矩阵(Owen's random orthogonal arrays)与D-最优试验设计方法产生样本点,即先用欧文正交矩阵产生样本点,然后利用D-最优设计从中选出一些样本点来构建近似模型。

不同的试验设计方法、近似模型及其组合,各有优缺点^[32]。截止目前,它们在高速列车外形设计与优化中的适应性对比研究少有报道。Lee^[33]对支持向量机(support vector machine, SVM)和Kriging近似模型的

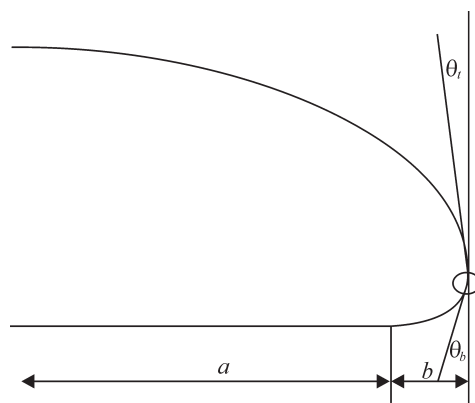


图3 列车头型5参数示意图

Fig.3 Geometric parameters of train nose

对比研究表明,与基于梯度的优化算法一起使用时SVM效率更高(表1)。

优化算法对任何优化问题都非常重要,它的选择不仅关系到设计效率的高低,甚至还会因无法获得全局最优解而导致失败。采用近似模型的优化问题变得简单了许多,首先一些近似模型一旦选定,就可以根据近似模型的类型选择合适的优化算法,如采用二次响应面模型,则可以选择二次优化算法;其次,近似模型极大地提高了设计效率,效率不高的全局探索优化算法(如遗传算法,模拟退火算法等)的使用已不再是一个问题。鉴于上述原因,本文对于优化算法的问题不再做过多阐述。

1.4 典型优化结果分析

Ku^[18]以Iida^[16]优化结果为基础形状,对列车头型进行优化以降低列车过隧道时的微气压波效应。与Iida^[16]和Lee^[33]的结果相比(图4),Ku优化方案在鼻型前端横截面增加非常迅速,而在中部附近截面增长率则为负值,这种横截面变化率由正向负突然变化使车体周围气流产生很强的膨胀效应,且鼻型长度较短时,会把一个大压缩波分成两个小压缩波,从而更有利于降低隧道微气亚波。因此,Ku方案与抛物线头型相比能使微气亚波最大值降低18%~25%,相比Iida方案的11%~18%有明显提高。同时Ku^[33]头型长度与最优头型关系的研究表明,不同头型长度下的优化方案也不同:当头型较短时,鼻型前端非常钝,截面面积递减较快,但随着长度增加变化逐渐平缓。

Vytla^[31]对时速350高速列车进行多目标优化,以减低列车的气动阻力与噪声。通过加权系数法,获得了不同权重系数下列车外形优化方案,如表2所示。从表2可以看出,随着噪音权重的增加,优化后的外形气动噪音降低,而阻力值增加,所以降低气动噪音与阻力是相矛盾的;反映在最终外形方案上,随着噪音权重的增加,头部变长、变钝。

表2 不同权重系数下优化变量值

Tab.2 Optimize solution under different weights factors

W_d	W_n	a/m	b/m	c/m	$\theta_d/(^{\circ})$	$\theta_n/(^{\circ})$	阻力/N	噪音/dB
1.0	0.0	6.72	1.33	0.788	17	47.2	106.6	45.3
0.8	0.2	6.78	1.63	0.795	16.7	47.3	108.2	43.2
0.5	0.5	6.84	1.66	0.789	14.7	47.3	108.8	42.5
0.2	0.8	6.92	1.65	0.801	15.0	47.0	110.0	42.3
0.0	1.0	7.00	1.61	1.612	1.2	29.6	138.5	41.0

在我国新一代高速列车外形设计中,Sun Zhenxu等^[34]利用数值方法对CRH3头型进行优化,新头型比原始方案气动阻力降低1.85%。Yao ShuanBao等^[35]对CRH2头型进行数值优化,在改善局部流场的同时,与原始方案相比,新头型头车非粘性阻力降低60.03%,尾车非粘性阻力降低47.89%。

表1 SVM与Kriging近似模型对比

Tab.1 Comparison between SVM and Kriging model

模型	SVM	Kriging
平均误差/%	3.35	3.70
平均迭代次数/次	4.55	7.20
目标函数减少/%	6.81	6.36

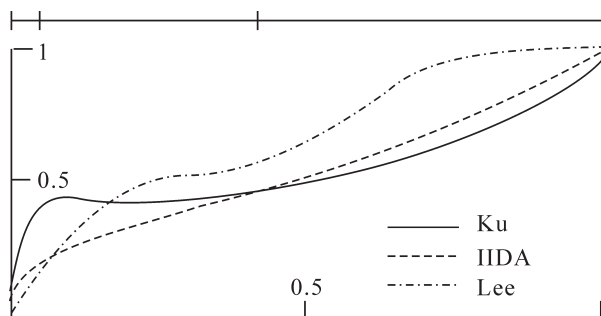


图4 优化方案对比

Fig. 4 Comparison of different optimization schemes

2 发展趋势与方向

国内外研究人员在列车头型数值设计与优化方面做了大量的研究工作,以“实验设计+近似模型”为基础的体系已初步形成,但仍有大量的工作有待进一步地研究。

2.1 与建筑物耦合设计

列车过隧道或桥梁时所产生的气动效应是列车与路旁建筑物相互作用的结果。目前工程中列车与建筑物设计都是分开进行的,没有充分考虑它们之间的相互作用^[36]。通过对线路实验数据分析,田红旗、高广军^[14]提出将列车和隧道耦合起来进行隧道断面和列车外形设计,是减小隧道空气动力学效应的有效途径,但进一步的研究还未有报道。随着运行速度的不断提高,列车与路旁建筑物(如,隧道)的耦合效应加剧,其空气动力学问题将成为制约高速列车可持续发展的主要因素。因此,研究列车与路旁建筑物的耦合设计理论与方法具有重要的理论意义与工程应用价值。

2.2 谱系化设计

列车运行的线路工况是多变的,不同线路工况对列车气动性能的要求也不尽相同,如明线运行要求气动阻力尽可能地小,过隧道时则希望隧道内气压变化与隧道气动噪声尽可能地小。不同的气动性能要求则会导致不同或截然相反的列车外形方案^[37-38]。我国“十二五”科学技术发展规划(2010—2015)^[39]中提出了列车谱系化的研究方向,这其中的一项重要的研究内容就是列车头型的谱系化设计。

2.3 多学科设计

目前几乎所有研究都局限在单一气动学科内,没有考虑列车空气动力学、结构动力学以及结构强度等学科间的相互影响。随着列车运行速度地不断提高,学科间的相互影响或耦合也越来越强,已到了不容忽视的程度^[40],因此多学科设计优化(multidisciplinary design optimization, MDO)也是大势所趋。

2.4 全寿命周期设计

设计产品不仅是设计产品的功能和结构,而且要设计产品的规划、设计、生产、经销、运行、使用、维修保养、直到回收再用处置的全寿命周期过程。全寿命周期设计意味着,在设计阶段就是考虑到产品寿命历程的所有环节,以求产品全寿命周期所有相关因素在产品分阶段就能得到综合规划和优化^[41]。

根据全寿命周期设计思想,列车头型设计不仅涉及空气动力学、结构动力学、结构强度等传统学科,还包括制造性、维修性和可靠性等因素。因此,未来的列车头型设计不仅要包含传统列车空气动力学、结构强度等学科,还要进一步探讨面向制造性、维修性和可靠性等的头型分析设计方法,在全寿命周期上进行列车头型设计。

2.5 随机设计

在高速列车设计、制造以及运营过程中存在许多不确定因素,如,材料属性的不确定性,制造与装配误差引起的外形参数的不确定性,运行环境的不确定型等等。为了获得稳健性的设计优化方案,降低风险,在的设计与优化中应该考虑这些不确定性因素,因此需要研究头型随机设计问题。

3 我国高速列车头型设计研发思考

3.1 我国高速列车头型设计态势

总体上,我国高速列车头型设计面临着严峻的形式。随着列车不断提速,急剧增加的气动阻力直接影响了列车的运行效率,而气动噪声的增加不仅严重影响旅客的乘坐舒适性,也给铁路沿线的生态环境带来了严峻的挑战。武广客运专线运行初期某高速列车过隧道时,车体侧壁产生较大的弹性变形并伴有爆破声,严重地影响了旅客乘坐舒适性和列车运行安全。学科耦合现象加剧,京津线运行初期,在车辆振动^[42]与会车压力波的耦合作用,某高速列车发生了多起设备舱支座(架)开裂,甚至出现头车转向架裙板丢失的现象。类似上述的空气动力学问题,影响了高速列车运行效率和安全性,直接影响了乘客的乘坐舒适性,

也给铁路沿线生态环境带来挑战,迫切需要从理论及技术层面上予以解决。

3.2 我国高速列车头型设计研发需求

我国高速列车头型设计研发应该为解决高速列车运行中出现的各种空气动力学问题提供理论与技术支持。这就需要研发能满足我国高速铁路运输要求、空气动力学综合性能良好的列车头型。针对因运行速度增加而产生的学科耦合效应,需要研究学科间的耦合关系,发展高速列车头型MDO设计理论与方法,开发具有自主知识产权的高速列车头型MDO设计平台。针对不同线路工况对列车气动性能要求的侧重点也不同,现阶段需要着力研究高速列车头型谱系化设计理论与方法,搭建具有自主知识产权的高速列车头型谱系化设计平台,以此为基础进行高速列车头型谱系化设计,以满足我国幅员广阔的高速铁路网对高速列车气动性能多样性的需求。

4 总结

1) 基于“试验设计+近似模型”的高速列车头型数值设计优化的理论与技术体系基本形成,在参数化建模、试验设计方法及近似模型精度评价等等方面仍有大量的研究工作有待开展。

2) 高速列车头型数值设计优化为列车空气动力学设计提供了新的理论与方法,未来研究主要集中在列车头型与建筑物耦合设计、列车头型谱系化设计以及列车头型MDO等方面。

3) 发展适合国情并具有自主知识产权高速列车头型设计理论与方法,建立高速列车头型设计技术规范 and 标准体系,是满足我国高速铁路可持续发展的需要,也是我国高速列车走出国门,参与国际竞争的需要。

参考文献:

- [1] RAGHU S RAGHUATHANA, H D KIMB, T SETOGUCHI. Aerodynamics of high-speed railway train[J]. Progress in Aerospace Sciences, 2002, 38(6/7): 469-514.
- [2] 张健. 高速列车最佳头部外形的进一步研究[J]. 电力机车与城轨车辆, 2005, 28(2): 5-8.
- [3] 张健. 国外高速列车最佳头尾部形状的研究[J]. 机车电传动, 2000, (2): 16-18, 35.
- [4] GAWTHORPE R G. Aerodynamics in Railway Engineering-Part I: Aerodynamics of trains in the open air [J]. Rlwy. Eng. Int., 1978, 3(4): 7-12.
- [5] PETERS J L. Aerodynamics of very high speed trains and maglev vehicles: state of the art and future potential [J]. Int. J. Veh. Des. 1983, 3: 308-413.
- [6] MAEDA T MATSUMURA T, IIDA M, NAKATANI K, et al. Effect of shape of train nose on compression wave generated by train entering tunnel[J]. The international conference on speedup technology for railway and maglev vehicles. Pacific Convention Plaza, Yokohama, 1993: 925-934.
- [7] YOON TS, LEE S, HWANG JH, LEE DH. Prediction and validation on the sonic boom by a high-speed train entering a tunnel [J]. J Sound Vib, 2001, 247(2): 195-211.
- [8] HEINE C, MATSCHKE G. The influence of the nose shape of high speed trains on the aerodynamic coefficient[J]. Word Congress on Railway Research. Germany, 2001: 1-9.
- [9] 井门敦志, 饭田雅宣, 前田达夫. 列车头部、尾部形状最佳化的风洞试验[J]. 铁道综研报告, 1993, 7(7): 59-66.
- [10] 前田达夫, 木下真夫, 钟本胜二, 本间则男. 新干线电动车组车头部形状的风洞试验[J]. 铁道技术研究所速报, 1984, 84(20): 1-19.
- [11] MACKRODT P A, STEINHEUR J, STOFFERS G. II型轮轨试验机车辆气动力学最佳形状的发展[J]. 国外高速铁路译文集 (三): 64-78.

- [12] 田红旗. 中国列车空气动力学研究进展[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(1): 1-8.
- [13] TIAN HONGQI. Formation mechanism of aerodynamic drag of high-speed train and some reduction measures[J]. J. Cent. South Univ. Technol., 2009, 16: 0166-0171.
- [14] 田红旗, 高广军. 270km/h 高速列车空气动力性能研究[J]. 中国铁道科学, 2003, 24(2): 14-18.
- [15] 王晶. 北车长客股份试验证实自主创新动车组比原型车减阻 12% 以上[EB/OL]. (2010-08-27) [2013-10-20]. <http://www.china.cn/272-655-2761.aspx>.
- [16] HIDA M, MATSUMURA T, NAKATANI K, et al. Effective nose shape for reducing tunnel soinc boom [J]. QR of RTRI, 1997, 4(38): 206-211.
- [17] M BELLENOUE, V MORINIE' RE, T KAGEYAMA. Experimental 3-d simulation of the compression wave, due to train-tunnel entry[J]. Journal of Fluids and Structures, 2002, 16(5): 581-595.
- [18] YO CHEON KU, MIN HO KWAK, HOON IL PARK, et al. Multi-objective optimization of high-speed train nose shape using the vehicle modeling function[J]. AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 2010, 48: 1-9.
- [19] KWON HB, K J Y K. Nose shape optimization of high-speed train for minimization of tunnel sonic boom [J]. JSME International Journal Series C, 2001, 44(3): 890-899.
- [20] 刘俊. 高速列车气动外形的 CFD 计算与优化[EB/OL]. (2011-01-19) [2013-10-20]. http://www.newmaker.com/art_40691.html
- [21] VEERA VENKATA SUNIL KUMAR VYTILA. Multidisciplinary optimization framework for high speed train using robus [D]. Wright State University, 2011.
- [22] LORRIAUX E, BOURABAA N, MONNOYER F. Aerodynamic optimization of railway motor coaches[EB/OL]. (2006-06-04) [2013-10-20]. <http://uahost.uantwerpen.be/eume/workshops/reallife/lorriaux.pdf>.
- [23] VYTILA P, HUANGY G, PENMETS R C. Multi objective aerodynamic shape optimization of high speed train nose using adaptive surrogate model [J]. AIAA Applied Aerodynamics Conference, 2010, 28: 1-12.
- [24] HYEOK BIN KWON, K J Y K. Nose shape optimization of high-speed train for minimization of tunnel sonic boom [J]. JSME International Journal Series C, 2001, 44(3): 890-899.
- [25] KWON HB, KIM YS, LEE DH, et al. Nose shape optimization of the high-speed train to reduce the aerodynamic drag and micro-pressure wave [J]. Proceedings of the Korean Society of mechanical engineers, 2001: 373-379.
- [26] 徐趁肖. 高速列车头型共映射建模理论研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2002.
- [27] 梁习锋, 吴学忠. 高速列车外形计算机辅助设计[J]. 国防科技大学学报. 1996, 18(2): 43-48.
- [28] 缪炳荣. 列车流线型三维参数化系统[D]. 成都: 西南交通大学, 2002.
- [29] 王文涛. 高速列车参数化 CAD 系统研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [30] SUN ZHENXU, SONG JINGJING, AN YIRAN. Optimization of the head shape of the CRH3 high speed train[J]. Science china, 2010, 12(53): 3356-3364.
- [31] JONGSOO LEE, JUNGHUI KIM. Approximate optimization of high-speed train nose shape for reducing micropressure wave [J]. Struct Multidisc Optim, 2008, 35: 79-87.
- [32] JIN R, CHEN W, SIMPSON T W. Comparative studies of metamodeling techniques under multiple modeling criteria. Structural and multidisciplinary optimization[J], 2001, 23(1): 1-13.
- [33] YO CHEON KU, JOO HYUN RHO, SU HWAN YUN, et al. Optimal cross-sectional area distribution of a high-speed train nose to minimize the tunnel micro-pressure wave [J]. Struct Multidisc Optim, 2010, 42: 965-976.
- [34] SUN Z X, SONG J J, AN Y R. Optimization of the head shape of the CRH3 high speed train [J]. Sci China Tech Sci, 2010, 53: 3356-3364.
- [35] YAO S B, GUO D L, YANG G W. Three-dimensional aerodynamic optimization design of high-speed train nose based on GA-GRNN [J]. Sci China Tech Sci, 2012, 55: 3118-3130.
- [36] 张雷, 田红旗, 杨明智, 张健, 曾祥坤, 杨志刚. 帽檐斜切式洞门斜率对隧道气动性能的影响[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013, 44(2): 817-822.
- [37] 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, 27(3): 47-55.

- [38] 赵怀瑞.高速列车外形多学科设计优化关键技术研究[D].北京:北京交通大学,2012.
- [39] 科技部.国家"十二五"科学和技术发展规划[EB/OL]. (2011-07-13) [2013-10-20]. <http://www.most.gov.cn/kjgh/>.
- [40] 张卫华.高速列车耦合大系统动力学理论与实践[M].北京:科学出版社,2013.
- [41] 薛许坤,韩豫,成虎.城市轨道交通全寿命周期设计理论及应用[J].城市轨道交通研究,2013,16(1):14-18.
- [42] 冯青松,雷晓燕,练松良.解析法分析铁路环境振动的列车随机激振荷载[J].华东交通大学学报,2013,30(5):1-7.

Present Situation and Future Development of High Speed Train Nose Shape Design Based on CFD

Zhao Huairui¹, Li Ping¹, Yang Fuchao²

(1.Institute of Modern Railway Vehicles, School of Railway Tracks and Transportation, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2.Department of Mechanical and Electrical Engineering, Henan Mechanical and Electrical Engineering College, Xinxiang 453002, China)

Abstract: The traditional design methods of high speed train nose shape, based on experiments, chooses the best one by comparing the aerodynamic performance of those limited design options, which is not real optimization. Numerical simulation combined with nonlinear optimization method has offered the new research direction and field for train nose shape design. The present research situation of high speed train nose shape design and optimization is analyzed and summarized, in design method, parametric method and computing strategies four aspects. Six research and development trends in high speed train nose shape design are pointed out as follows: coupling design with architectures alone railway, family design, multidisciplinary design optimization, life-cycle design, randomized design. As the train speeds up, it needs in China to develop safe, high efficient and environment-friendly nose shape, to develop widely-used, reliable and efficient nose shape design method and technology, national guidelines and standards for high speed train nose shape design.

Key words: high speed train; nose shape; design and optimization; aerodynamic