# 高速动车组新头型空气动力学研究

# Aerodynamics Research of new head-types of High-speed EMU

李明[1]、孔繁冰、韩璐

（唐山轨道客车有限责任公司产品研发中心 河北省唐山市丰润区厂前路 3号 邮编：063035）

**摘要**：高速动车组新头型的开发是新车型研制的一项重要工作。本文针对时速 350公里动车组五种方案的新头型进行了数值仿真计算，对五种新头型进行了无横风及 15m/s横风两种工况下，包括气动阻力、气动升力和倾覆力矩的综合气动性能评估。在计算结果对比分析的基础上，将进行风洞试验验证和优化比选。

**关键词**：高速动车组；气动性能；风洞试验

**Abstract:** Development of new head-types is an important task in manufacturing a new vehicle. Numerical calculation on five schemes of new head-types was carried out, aiming at two conditions of no crosswind and crosswind of 15m/s. Then the aerodynamics performance of new head-types of 350km/h are evaluated, including drag force, lift force and overturned moment. Subsequently, wind tunnel test will be done to help choosing the best head-type, based on analysis of the calculating results.

**Keywords:** High-speed Electrical Multiple Unit (High-speed EMU), aerodynamics performance, wind tunnel test

## 1 前言

今年，公司开始了时速 350 公里动车组新头型的设计与研制工作，包括 5 种风格的动车组新头型。新头型的开发流程如图 1 所示。围绕新头型的性能比较和优化选择，进行了数值仿真计算工作，为后期风洞试验提供数据对比基础[1~3]。

## 2 数值仿真计算

本文针对 350km/h 五种新方案，进行了三辆编组明线无侧风及 15m/s 横风两种工况的数值仿真计算。

新头型设计采用确定了统一的客室型式，五种风格的头型均统一过渡到这个客室型式上。

[1] 作者简介：李明，男，博士学位，工程师，主要从事高速动车组空气动力学研究工作。

在进行各方案气动性能的对比计算时，采用了分段处理头车、中间车、尾车面网格、体网格的方案，即只做一次中间车网格和五种方案的头车网格（尾车网格可根据头车网格在软件中经过映射和平移等操作确定）。本文针对方案三进行了整车体网格划分和分段体网格划分，两种方法的体网格数目均在 6000 万左右且满足网格无关性要求，整车阻力系数的计算结果分别为 0.298 和 0.286，两者相差 4.0%，在可接受的范围内。故本文采用分段处理体网格的方式进行头型评估。相比于以往整车体网格划分，大大节省了工作时间和计算机资源。

## 2.1 无侧风时各方案的气动性能比较

1．计算设置

本文按可压缩性气体进行计算，入口条件可按速度入口条件和源场入口条件两种方法设定。

如果入口条件采用速度入口条件，出口处按压力出口条件设定，地面按移动壁面条件设定，其余按无滑移壁面设定。

如果采用源场入口条件，除地面按移动壁面条件设定外，计算域其余表面均采用相同的源场条件设置。

通过两种方法的计算，计算结果差别在 5%以内。

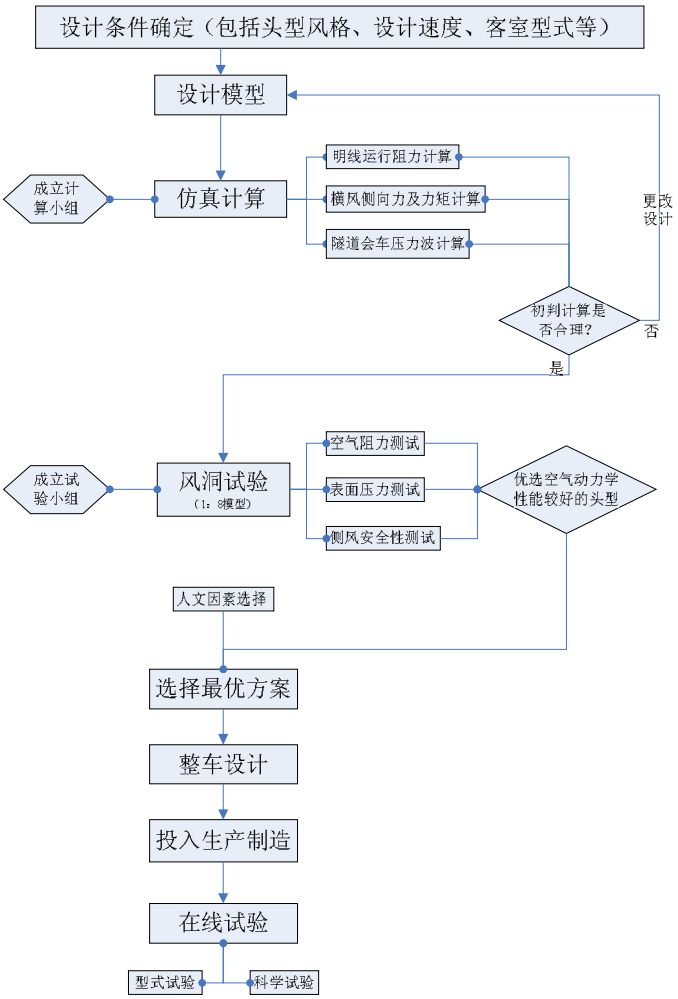
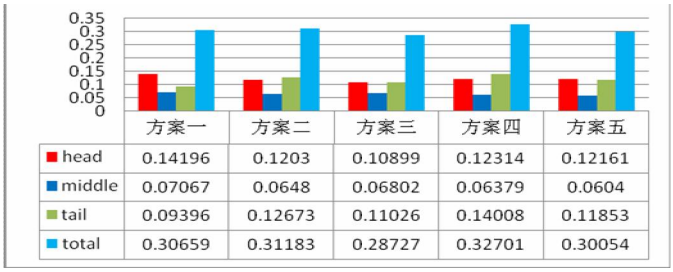



图 1 新头型的开发流程

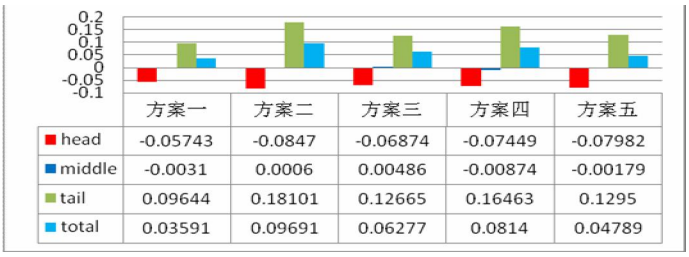
2．计算结果对比

分别针对无侧风时三辆编组动车的头车、中间车和尾车进行了阻力系数、升力系数计算，计算结果对比分别如图 2 和图 3 所示。计算结果对比主要考虑五个方案总阻力系数和尾车升力系数，其中升力比阻力收敛要慢一些。




| | 方案一 | 方案二 | 方案三 | 方案四 | 方案五 |
|---|---|---|---|---|---|
| head | 0.14196 | 0.1203 | 0.10899 | 0.12314 | 0.12161 |
| middle | 0.07067 | 0.0648 | 0.06802 | 0.06379 | 0.0604 |
| tail | 0.09396 | 0.12673 | 0.11026 | 0.14008 | 0.11853 |
| total | 0.30659 | 0.31183 | 0.28727 | 0.32701 | 0.30054 |

图 2 各方案阻力系数




| | 方案一 | 方案二 | 方案三 | 方案四 | 方案五 |
|---|---|---|---|---|---|
| head | -0.05743 | -0.0847 | -0.06874 | -0.07449 | -0.07982 |
| middle | -0.0031 | 0.0006 | 0.00486 | -0.00874 | -0.00179 |
| tail | 0.09644 | 0.18101 | 0.12665 | 0.16463 | 0.1295 |
| total | 0.03591 | 0.09691 | 0.06277 | 0.0814 | 0.04789 |

图 3 各方案升力系数

由图 2 和图 3 可以看出，在无侧风条件下，五个方案总阻力系数从小到大的排序是：方案三<方案五<方案一<方案二<方案四。各个方案尾车升力系数从小到大排序为：方案一<方案三<方案五<方案四<方案二。

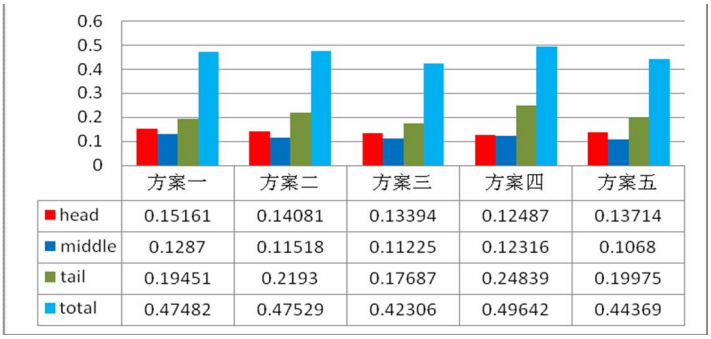
## 2.2 横风条件下各方案的气动性能比较

1．计算设置

求风速与前方来流速度的合速度，和风速与前方来流速度的夹角 $\alpha$。将合速度作为横风工况的来流速度，通过 $\alpha$ 角对应的正弦值和余弦值定义风速和来流速度[4]。

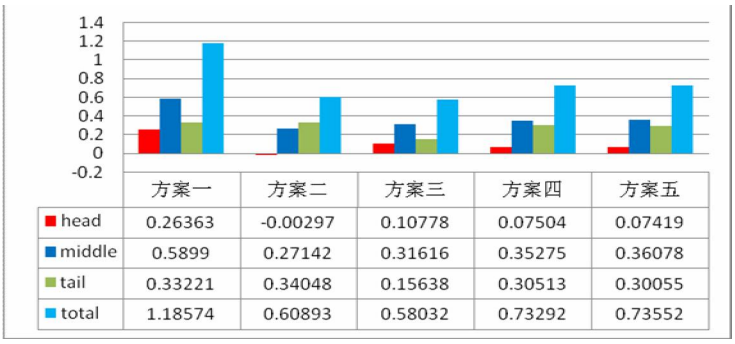
2．计算结果对比

分别针对 15m/s 横风时三辆编组动车的头车、中间车和尾车进行了阻力系数、升力系数计算，计算结果对比分别如图 4~图 6 所示。计算结果对比主要考虑五个方案总阻力系数、尾车升力系数和倾覆力矩。



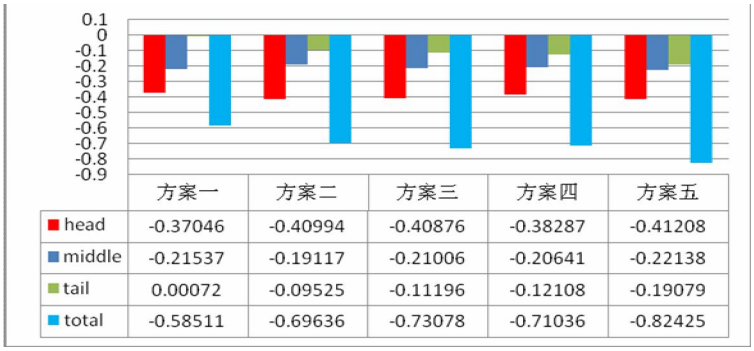

| | 方案一 | 方案二 | 方案三 | 方案四 | 方案五 |
|---|---|---|---|---|---|
| head | 0.15161 | 0.14081 | 0.13394 | 0.12487 | 0.13714 |
| middle | 0.1287 | 0.11518 | 0.11225 | 0.12316 | 0.1068 |
| tail | 0.19451 | 0.2193 | 0.17687 | 0.24839 | 0.19975 |
| total | 0.47482 | 0.47529 | 0.42306 | 0.49642 | 0.44369 |

图 4 横风时各方案阻力系数




| | 方案一 | 方案二 | 方案三 | 方案四 | 方案五 |
|---|---|---|---|---|---|
| head | 0.26363 | -0.00297 | 0.10778 | 0.07504 | 0.07419 |
| middle | 0.5899 | 0.27142 | 0.31616 | 0.35275 | 0.36078 |
| tail | 0.33221 | 0.34048 | 0.15638 | 0.30513 | 0.30055 |
| total | 1.18574 | 0.60893 | 0.58032 | 0.73292 | 0.73552 |

图 5 横风时各方案升力系数




| | 方案一 | 方案二 | 方案三 | 方案四 | 方案五 |
|---|---|---|---|---|---|
| head | -0.37046 | -0.40994 | -0.40876 | -0.38287 | -0.41208 |
| middle | -0.21537 | -0.19117 | -0.21006 | -0.20641 | -0.22138 |
| tail | 0.00072 | -0.09525 | -0.11196 | -0.12108 | -0.19079 |
| total | -0.58511 | -0.69636 | -0.73078 | -0.71036 | -0.82425 |

图 6 横风时各方案倾覆力矩系数

由图 4~图 6 可以看出，在有横风的条件下，各方案总阻力系数从小到大的排序：方案三<方案五<方案一<方案二<方案四。倾覆力矩的排序为：方案一<方案二<方案四<方案三<方案五。尾车升力的排序为：方案三<方案五<方案四<方案一<方案二。

## 2.3 新头型气动性能总结

1. 有、无横风的情况下，各方案总阻力系数一致，均为：方案三<方案五<方案一<方案二<方案四。

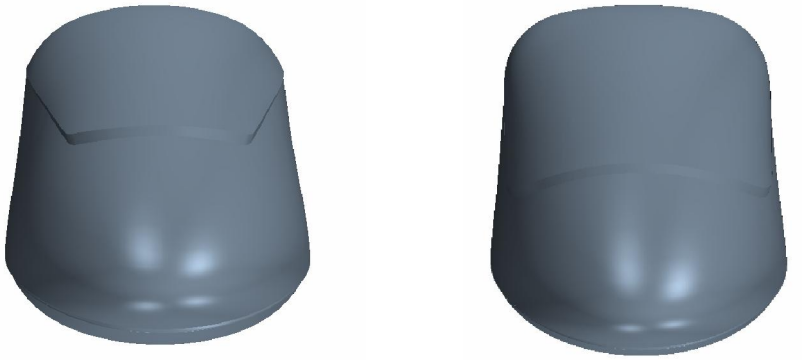
2. 有横风情况下，各方案尾车升力的排序为：方案三<方案五<方案四<方案一<方案二。而无横风情况下，各方案尾车升力的排序为：方案一<方案三<方案五<方案四<方案二。两种工况有所不同。

3. 有横风情况下，各方案倾覆力矩的排序为：方案一<方案二<方案四<方案三<方案五。

综上可知，头型的形状对横风比较敏感，方案三在五个头型中的综合性能最好。各方案的综合气动性能排序：方案三 > 方案一 > 方案五 > 方案四 > 方案二。考虑到方案三的倾覆力矩较大，可在车体横断面上做一些平滑处理，去掉增大倾覆力矩的棱角等部位。

# 3 新头型对升阻力的影响

图 7 所示为方案三两种设计风格的头型。两种方案分别做头车、尾车时，其升力、阻力性能分别有所不同。表 1 为方案三两种风格头型的阻力、升力分布情况。



方案 1　　方案 2

图 7 方案三的两种设计风格

表 1 方案三两种风格头型的阻力、升力分布

| | 整车阻力 | 头车阻力 | 中间车阻力 | 尾车阻力 | 升力 | 头车升力 | 中间车升力 | 尾车升力 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 方案 1 | 0.296 | 0.108 | 0.0643 | 0.120 | 0.0571 | -0.0882 | 0.00276 | 0.142 |
| 方案 2 | 0.298 | 0.106 | 0.0640 | 0.126 | 0.0484 | -0.0857 | 0.000543 | 0.133 |

分别计算两种方案的气动升力、阻力，可以看出方案 2 阻力较大。两种方案仅在头型上有一条曲线从迎风面往车体的过渡型式不同。其中，方案 2 过渡较快，在头车处会稍微减小阻力，比方案 1 要好一些。但方案 2 在尾车处会导致更多的气流漩涡而增大阻力。总体上看，方案 1 的气动性能要好于方案 2。

也可以看出，头型不同，其头车、中间车、尾车受到的阻力、升力均不同。

## 4 结论

针对 350km/h 五种新头型方案，进行了三辆编组明线无侧风、明线有 15m/s 横风等工况的数值仿真计算。从计算结果可以看出，头型的不同对列车的阻力、升力、侧向力等气动性能的影响很大，其中方案三在五个头型中的综合性能最好。

## 5参考文献

[1] 中国低速空气动力学研究发展中心 .CRH3动车组风洞试验报告， 2009

[2] 中国低速空气动力学研究发展中心 .高速综合检测列车， 2010

[3] 田红旗 . 列车空气动力学 [M]. 中国铁道出版社， 2007

[4] 郗艳红 . 侧风下高速列车外流场分析 [C]. CDAJ－ China 中国用户， 2010