

提速列车车厢减小空气阻力风洞实验研究*

邹建军 陈宏 吴桂馥

(国防科技大学航天技术系 长沙 410075)

陈南翼

(长沙铁道学院高速列车研究中心 长沙 410073)

摘要 列车提速使得其空气阻力明显增大。为了减小空气阻力,列车车厢气动外形的研究变得愈加重要。在低速风洞中获得的实验结果表明,对现型列车车厢局部外形稍加改善,就能使得其空气阻力大为降低。这是实现我国列车提速最为有效的途径之一。

关键词 提速列车; 气动外形; 风洞实验

分类号 V211.74

Wind Tunnel Experimental Investigation of Decreasing Aerodynamic Drag of Increasing Speed Train

Zou Jianjun Chen Hong Wu Guifu

(Department of Aerospace Technology, NUDT, Changsha, 410075)

Chen Nanyi

(High Speed Train Research Center of Changsha Railway University, Changsha, 410075)

Abstract Increasing speed makes aerodynamic drag of train increase obviously. To decrease aerodynamic drag, it is important to improve aerodynamic contour of train. Experiment results show that a little change of partial contour of train can greatly decrease aerodynamic drag. This is an effective way to decrease aerodynamic drag of increasing speed train.

Key words increasing speed train, aerodynamic contour, wind tunnel experiment

近年来,我国正在着手研究和建立高速列车运行系统,同时为了缓解目前铁路运输的紧张状态,铁道部还在着手提高四大干线旅客列车的运行速度。由于列车空气阻力与速度的平方成正比,空气阻力耗散功率与速度立方成正比,所以随着车速的提高,空气阻力及其耗散功率急骤增加。当车速达到 250~300km/h 时,空气阻力占列车总阻力的 75%~80%^[1]。因而减小空气阻力成为列车提速的关键问题。在现型营运列车的基础上添加若干附件,将局部外形稍加改善,是提高车速的同时减小空气阻力的一种有效途径。

一列列车由一台机车和若干车厢组成,因为机车位置在列车头部,所以单节机车的阻力比单节车厢大,因此过去对头部形状研究较多^[2]。然而,一列列车中车厢的节数多,对于速个列车来说,车厢的空气阻力远远超过机车和尾车的空气阻力之和。为此,国防科技大学和长沙铁道学院合作,专门对国产 25 型客车车厢的空气阻力进行了风洞实验研究。

本次实验对该型提速列车车厢模型的七种气动外形进行了实验研究。在不同风速下,测量了各种外形的阻力系数。实验表明,在不同气动外形下,其空气阻力的变化非常明显。

1 实验模型与状态

实验模型为 1/25 缩尺木质模型,包括基本车型及不同减阻附件,现介绍如下:

* 第一作者: 邹建军,男,1970 年生,讲师

基本车型: 基本车型以当前营运的 25 型客车车厢为基础缩比而成, 长、宽、高分别为 1063, 124. 2, 170mm。完全模拟车体底架以上部分实物外形, 部分模拟底架以下部分如转向架及风缸、蓄电池箱、车钩等主要部件, 车厢两端采用传统的小风挡连接形式。

减阻附件: 减阻附件包括: (1) 车体中部(两转向架之间)的大裙板; (2) 车体中部的全封闭车底外罩, (3) 转向架外侧大裙板; (4) 车体两端(车厢端面至转向架)大裙板; (5) 车体两端的全封闭式车底外罩; (6) 大风挡。

为了反映真实的列车运行情况, 除用于测试的车厢外, 还设计加工了前车厢模型和后车厢模型各一节。前车厢模型后端始终与测量模型后端相同, 而前端头部形状设计成流线型, 使气流平稳过渡; 后车厢模型的前端始终与测量模型的前端相同, 用于模拟气流在测量模型后部的流动情况。

主要的模型实验状态如表 1 所示。

表 1 列车模型测力实验状态与部分结果

Table 1 Test configuration of the models and a part of experiment results

状态编号	模型构成	$V=45\text{m/s}$ 时 C_x	与状态 1 相比减阻效果
1	基本车型	0.2141	
2	在 1 的基础上, 加中部大裙板	0.2007	降低 6.3%
3	在 2 的基础上, 加两端大裙板	0.1843	降低 14%
4	在 1 的基础上, 加中部全封闭外罩	0.1928	降低 10%
5	在 4 的基础上, 加两端全封闭外罩	0.1818	降低 15%
6	在 5 的基础上, 加转向架大裙板	0.1779	降低 17%
7	在 6 的基础上, 改用大风挡连接形式	0.1067	降低 49%

2 实验技术和实验方法

模型实验在 KD-03 低速风洞中进行, KD-03 是一座闭口直流式矩形切角低速风洞。模型由穿过地板的支杆安装在风洞实验段的底板上。地板上安装有缩尺导轨, 以模拟真实铁路钢轨。模型气动力由盒式六分量应变天平测量, 天平通过腹撑安装在测量车厢模型内部, 如图 1 所示。

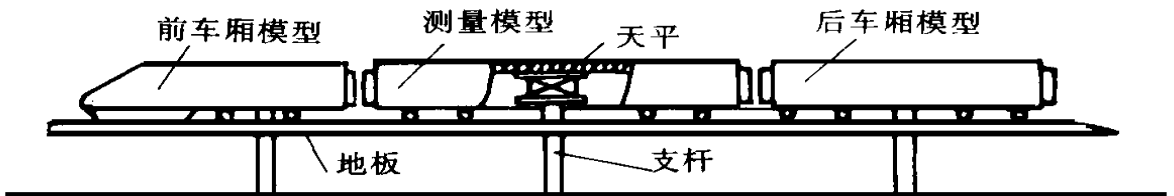


图 1 模型实验状态结构图

Fig. 1 Features of test configuration of the models

3 实验结果与讨论

1. 雷诺数影响

本实验风速 V 取 $10 \sim 50\text{m/s}$, 相应的以模型车高为参考长度的雷诺数 Re 为 $1.16 \times 10^5 \sim 0.58 \times 10^6$ 。而实车运行速度为 140km/h , 其相应雷诺数 Re 为 1.13×10^7 , 比模型雷诺数大一个多数量级。由图 2 至图 5 看出, 随着雷诺数的增加, 模型空气阻力系数逐渐减小, 但当速度增加到 $40 \sim 50\text{m/s}$, 雷诺数(风速)对空气阻力系数的影响已不明显, 基本已达自模化状态。

2. 整流大裙板对空气阻力的影响

为了解整流大裙板对列车空气阻力的影响, 本实验对 1、2、3 三种状态进行了空气阻力系数的测量, 其结果如图 2 所示。从图中可以看出, 加上大裙板可使列车的空气阻力明显下降。例如当 $V=45\text{m/s}$ 时,

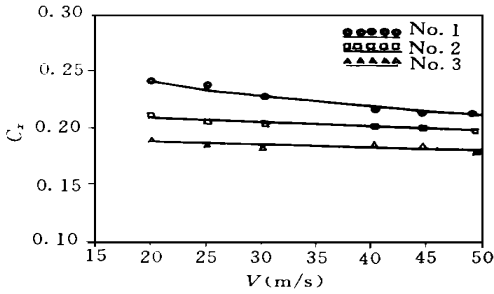


图2 整流大裙板对模型阻力系数的影响

Fig. 2 Influence of skirt board on the drag coefficient

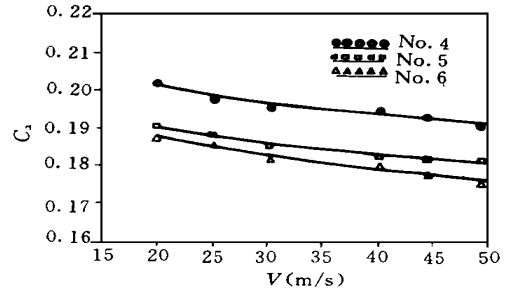


图3 全封闭式整流罩对模型阻力系数的影响

Fig. 3 Influence of full closed fairing on the drag coefficient

基本车型1的 $C_x = 0.2141$, 中间加大裙板状态2的 $C_x = 0.2007$, 比状态1降低了6.3%。而中间, 两端皆加大裙板状态3的 $C_x = 0.1843$, 较状态1下降了14%。

整流大裙板可以起到明显的减阻作用, 主要是因为它能使列车底部两侧绕流产生的涡流减弱。

3. 全封闭式整流罩对列车空气阻力的影响

图3表示的是整流罩对列车空气阻力的影响, 从中可看出, 空气阻力由于加罩而有明显下降。例如当 $V = 45\text{m/s}$ 时, 中间加罩状态4, 其 $C_x = 0.1928$; 中间、两端均加罩状态5, 其 $C_x = 0.1818$; 中间、两端加罩, 转向架加大裙板状态6, 其 $C_x = 0.1779$, 分别比状态1下降了10%、15%、17%。

这种全封闭式整流罩除了可以减弱列车底部两侧绕流产生的涡流外, 还可以避免车厢底部的悬挂物对气流所产生的分离流动, 起到了较好的整流作用。

4. 整流罩与整流大裙板效果比较

为了比较整流大裙板与整流罩的减阻效果, 将状态2、3、4、5、6几种实验状态的结果画在一起, 如图4所示。可见, 当 $V = 45\text{m/s}$ 时, 与基本车型相比, 中间加罩状态4的空气阻力系数下降10%, 而中间加大裙板状态2的空气阻力系数仅下降6.3%。但中间、两端同时加大裙板3的空气阻力系数下降14%, 中间、两端同时加罩状态5的阻力系数下降15%, 二者相当。

初步分析认为, 与大裙板相比, 整个车厢底部加外罩后对空气阻力的影响有两个主要因素: 一是避免了气流直接作用在车底悬挂物及不平整的台阶上, 从而起到了整流作用, 减小了空气阻力; 二是由于车厢两端加了车底外罩后, 由于端部外罩的端面与车厢端面平齐, 当通过台采用小风挡时, 前后车厢端部外罩的端面之间形成了产生涡流的空间, 使得车厢连接处可能产生更大的涡流, 抵消了一部分底部整流减阻的作用, 使得中间、两端同时加车底外罩较之中间、两端同时加大裙板的空气阻力系数下降不多。

5. 大风挡连接形式对空气阻力的影响

目前国内所有旅客列车, 车辆间通过台均采用小风挡, 且通过台纵向尺寸较大。就气动外形而言, 此种连接方式存在着较大的缺陷。为探讨风挡大小对车厢空气阻力的影响, 本实验在模型状态7下, 采用与车辆外形完全一致的大风挡连接, 并测量了其空气阻力系数, 从实验结果发现其阻力系数大为降低。如图5所示, 当 $V = 45\text{m/s}$ 时, 采用小风挡阻力系数为 $C_x = 0.1779$, 而采用大风挡 $C_x = 0.1085$, 降低了39%。

由上可知, 对于高速列车而言, 小风挡连接形式应予取消, 而采用大风挡连接, 将大为降低列车空气阻力。这主要是由于在小风挡处, 会出现局部分离及旋涡, 从而使能量损失增加, 而大风挡结构可弥补此种缺陷。

4 结论

本次实验结果提供了如下结论:

(1) 在车厢两侧下方加大裙板, 可明显地起到减阻作用。本实验中, 列车中部加大裙板, 可使车厢空气阻力系数下降6.3%, 若两端再加上大裙板, 其空气阻力系数能下降14%。

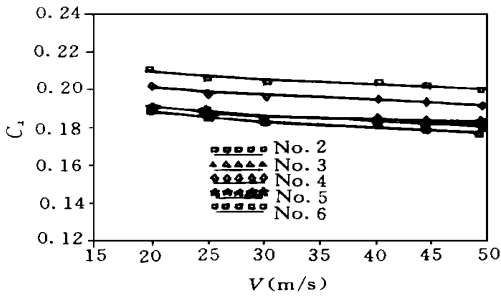


图4 整流罩与整流大裙板效果比较
Fig. 4 Effect comparison of skirt board and fairing

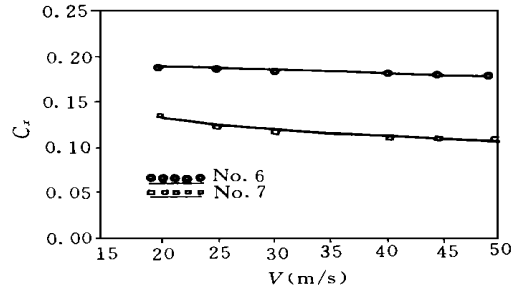


图5 大风挡连接形式对模型阻力系统的影响
Fig. 5 Influence of big damper plate on the drag coefficient

(2) 仅在列车底部中间加罩时, 比大裙板能更有效地降低空气阻力系数, 达 10%。但在两端、中间同时加罩时, 其空气阻力系数仅能再下降 5%, 与在两端、中间同时加大裙板相当。

(3) 小风挡结构会使该处产生局部分离, 出现旋涡, 从而车厢空气阻力系数大为增加。若采用大风挡结构, 本实验中, 其空气阻力系数下降 39%。因此, 建议该型提速列车设计取消传统的小风挡结构而采用大风挡。

(4) 以综合本次实验结果可知, 该型提速列车的最佳外形是在两端、中间同时加罩, 转向架加大裙板, 同时采用大风挡结构, 能使其空气阻力系数下降 49%。

参考文献

- 1 陈南翼, 张健. 高速列车空气阻力的研究. 中国铁路, 1998. 2
- 2 朱卫. 高速列车气动外形风洞实验研究. 《流体力学实验与测量》Vol. 11 No. 2, 1997, 11(2).
- 3 易仕和, 邹建军等. 利用均匀抽吸地板进行高速列车模型地板边界层影响的试验研究. 流体力学实验与测量. 1997. 11(2)