

基于 STAR-CCM+的空调导流罩气动性能分析

Analysis of the Aerodynamic Performance for Air-conditioning Dome by STAR-CCM+

孔繁冰、李明、李国清、韩璐、刘斌
唐山轨道客车有限责任公司产品研发技术研究中心

摘要: 本为应用流体仿真软件 STAR-CCM+对空调导流罩的性能进行分析,建立了三个分析模型,分别为模型 1、模型 2 和模型 3。通过对三个模型的阻力大小进行分析比较,模型 2 和模型 3 较优。将模型 2 和模型 3 的计算结果与风洞试验结果进行对比分析,同时考虑两种模型下的空调机/组功能,综合评估结果为:模型 2 的综合效果最佳。

关键词: STAR-CCM+、阻力、功能、优化

Abstract: The Aerodynamic Performance of air-conditioning dome was studied using fluid simulation software, STAR-CCM+. Three models were built, model 1, model 2 and model 3. The conclusion was drawn that model 2 and model 3 are better, by computing the values of three models' wind resistance. The results of simulation and wind tunnel test of model2 and model3, were contrasting analyzed, at the same time, considering the performance of air-conditioning/unit. The synthetical appraisal result was drawn that model 2 is the best.

Key words: STAR-CCM+、resistance、function、optimize

空调导流罩位于车体顶部,会增大列车的横截面积,引起气流扰动及分离,增大列车运行阻力。根据空气动力学理论,对空调导流罩外形进行优化设计,使外形更趋于流线化,从而减小空气阻力,同时对空调机组及进排风口位置是否合理进行评估。

1 数值仿真分析

1.1 几何模型

考虑到整车计算的误差,采用简化模型进行比较,将空调导流罩趴在平板上进行计算,这样计算流场与空调导流罩趴在车上相似,三种导流罩模型如下所示。

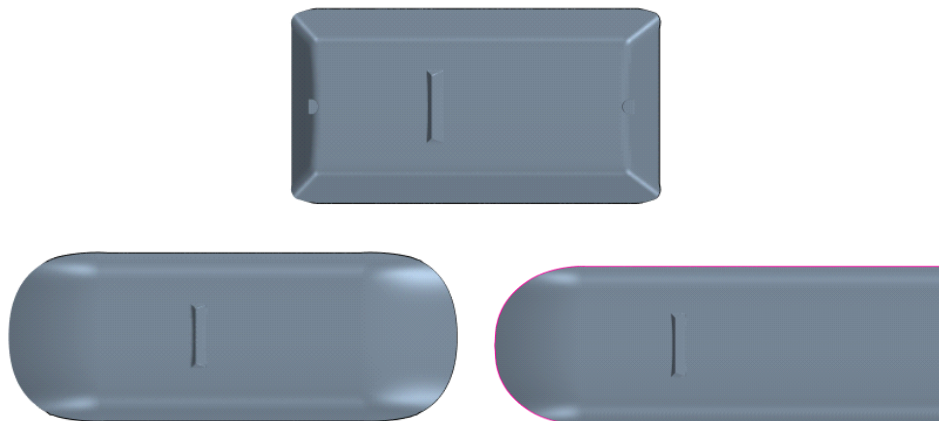


图 1-1 模型 1、2、3

1.2 计算条件及结果分析

本文以计算流体力学软件 STAR-CCM+为研究工具，对三种模型的气动性能进行对比分析。计算中控制方程为可压缩 N-S 方程，湍流模型为 SST K- ω 模型+标准壁面函数，来流速度为 97.22m/s，出口为压力出口边界。

气动阻力包含凹腔和前后平板的所受气动阻力之后，其具体结果可见下表：

表 1.1 三种模型阻力对比分析

	模型 1	模型 2	模型 3
总阻力(N)	2917	1945	1316

从计算结果可以看出，模型 2 和模型 3 的阻力均小于模型 1，而模型 3 阻力 最小。其流场与压力分布见下所示。

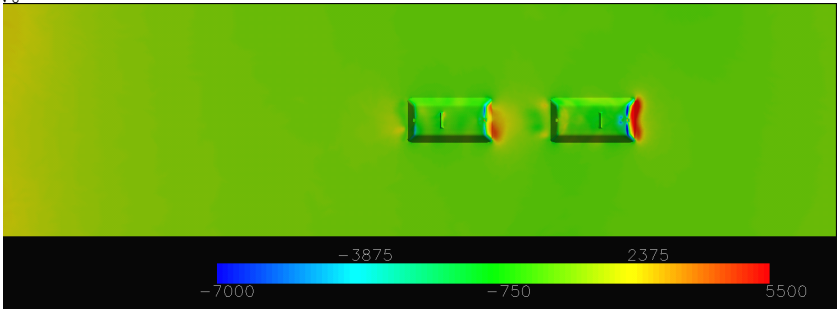


图 1-2 模型 1 压力云图

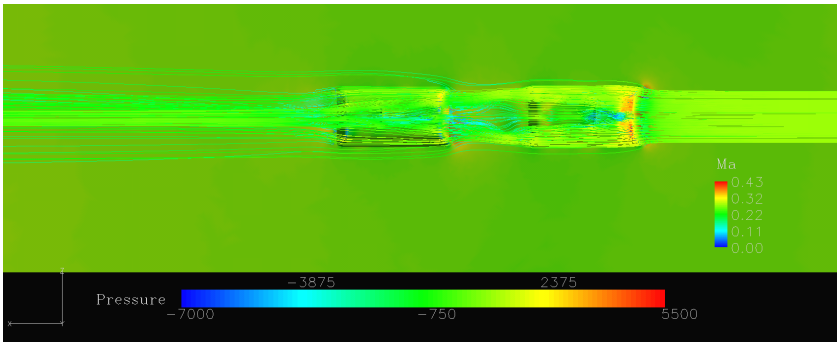


图 1-3 模型 1 压力及流线图

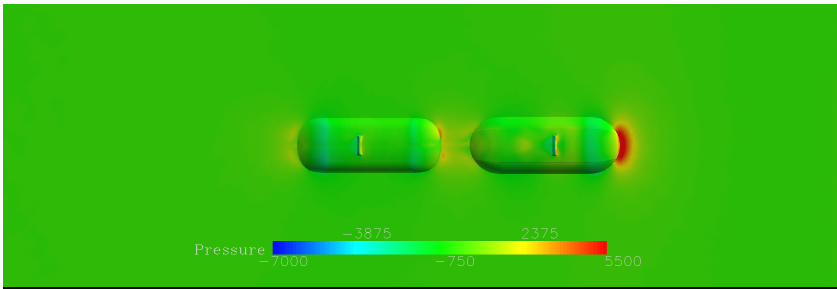


图 1-4 模型 2 压力云图

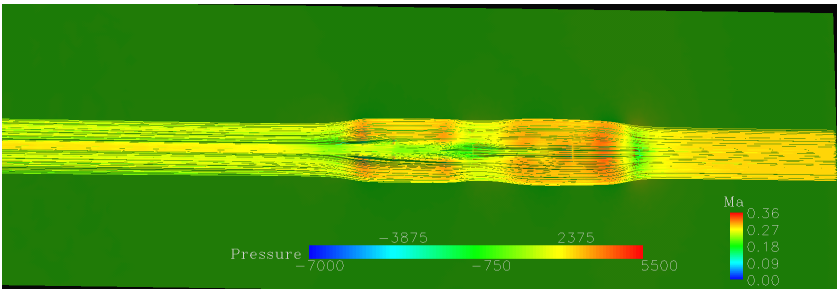


图 1-5 模型 2 压力及流线图

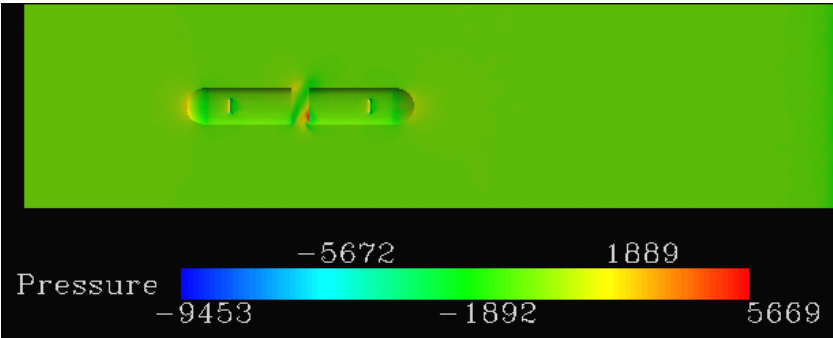


图 1-6 模型 3 压力云图

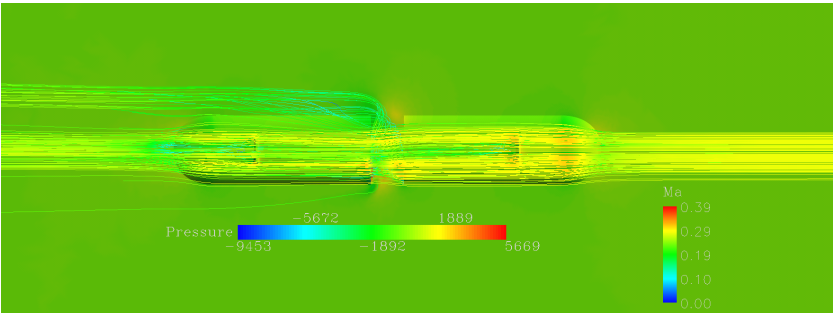


图 1-7 模型 3 压力及流线图

2 风洞试验

对三辆编组列车模型进行风洞试验，试验中包含了不同部件减阻优化方案对比分析。其中针对空调导流罩进行了两种方案吹风试验，即模型 2 和模型 3。，试验时风速为 60 m/s，迎风角为：-6°、-3°、0°、+3°和+6°。表 2.1 列出了模型 2 和模型 3 在不同侧偏角下的试验结果，具体见表中所示。

表 2.1 模型 2 和模型 3 风洞试验结果对比分析

角度	模型 2	模型 3	减阻率(%)
-30	0.43399	0.43257	0.33%
-25	0.49631	0.502	-1.15%
-20	0.53376	0.52487	1.67%
-15	0.52714	0.52779	-0.12%
-10	0.48913	0.48439	0.97%
-8	0.46962	0.46421	1.15%
-5	0.43448	0.4276	1.58%
0	0.41201	0.40351	2.06%
5	0.43252	0.43812	-1.29%
8	0.46794	0.48039	-2.66%
10	0.47881	0.49796	-4.00%
15	0.52053	0.52304	-0.48%
20	0.52512	0.52535	-0.04%
25	0.48534	0.48669	-0.28%
30	0.40362	0.40866	-1.25%

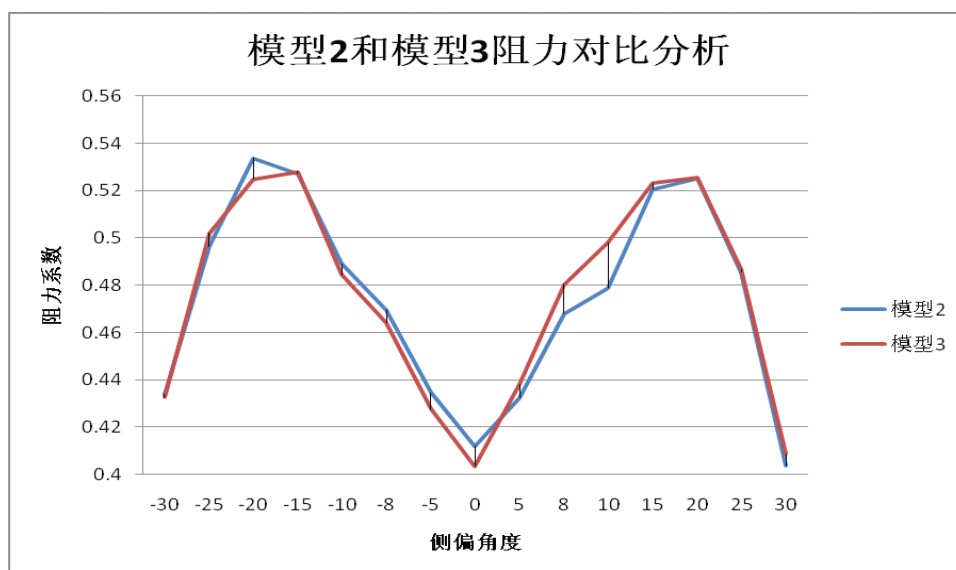


图 2-1 模型 2 和模型 3 阻力对比分析

从上面的数据可知，在侧偏角为 0° 时，三辆编组时，采用模型 3 比采用模型 2 整车空气阻力降低约 1.58%，当存在侧偏角时，变化趋势较不稳定，在不同的侧偏角下有增有减。

3 进排风效果对比分析

对空调导流罩外形进行优化，除考察阻力大小外，同时还要考虑在不同外形下，空调机组功能是否受到影响。

下面分别对模型 2 和模型 3 两种导流罩进行仿真分析，主要对空调机组上的冷凝器进、排风口以及车体上的新风进风口的压力进行的仿真分析，具体结果如下所示：

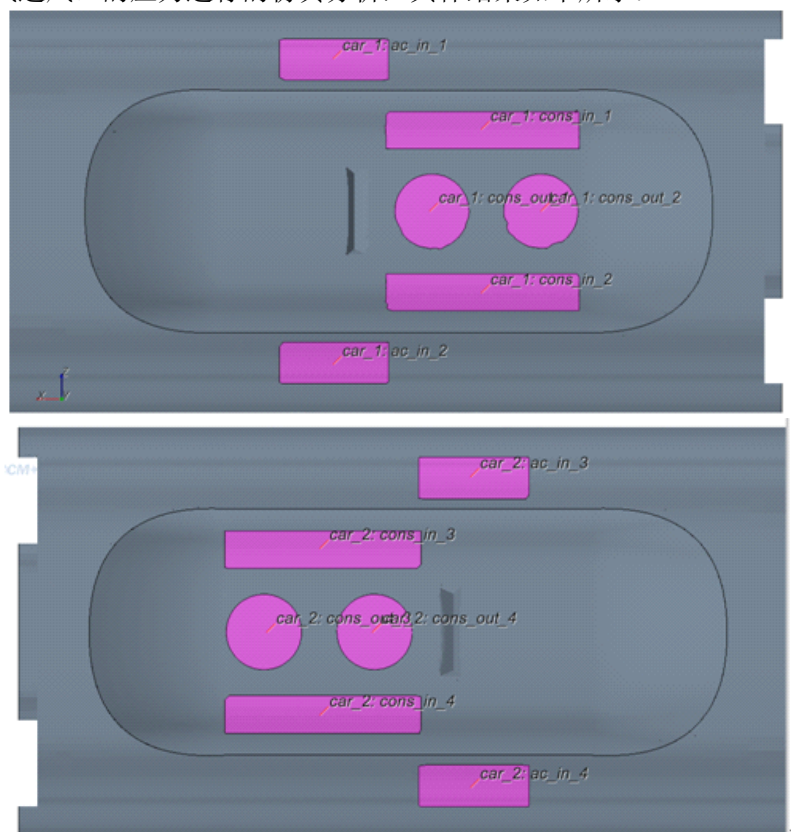


图 3-1 模型 2 空调机组进排风口示意图

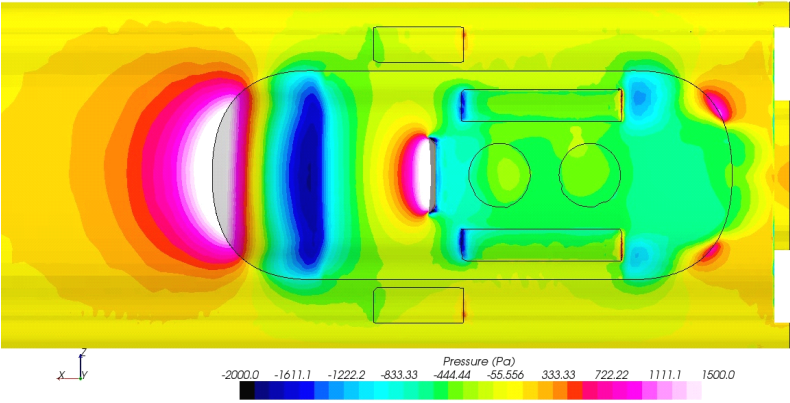


图 3-2 在 1°侧偏角下，1 车空调导流罩处压力分布图

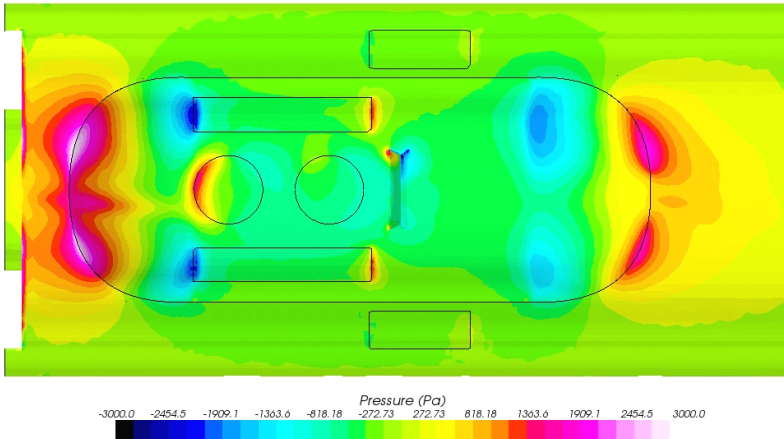


图 3-3 在 1°侧偏角下，2 车空调导流罩处压力分布图

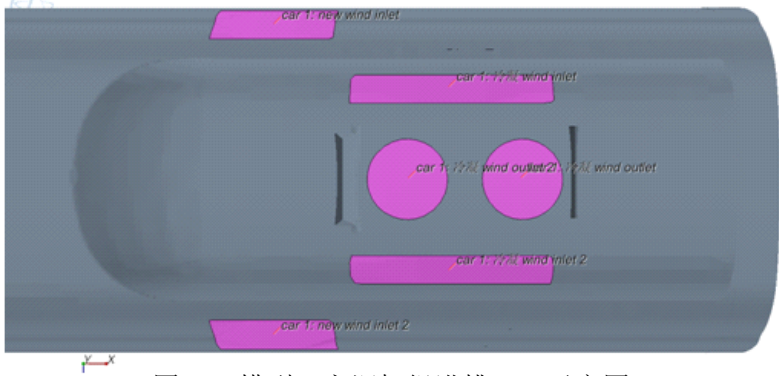


图 3-4 模型 3 空调机组进排风口示意图

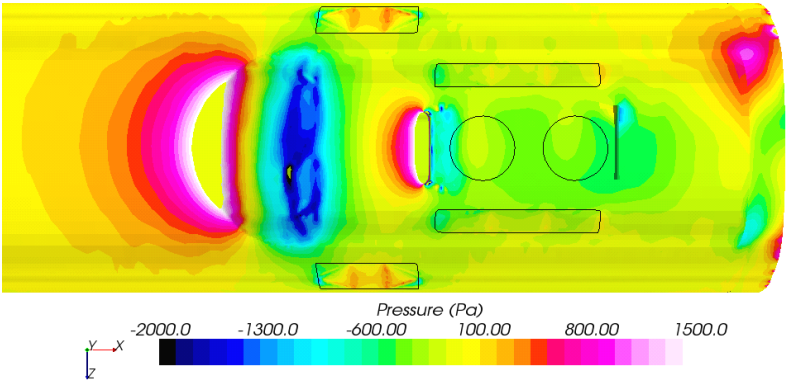


图 3-5 在 1°侧偏角下，1 车空调导流罩处压力分布图

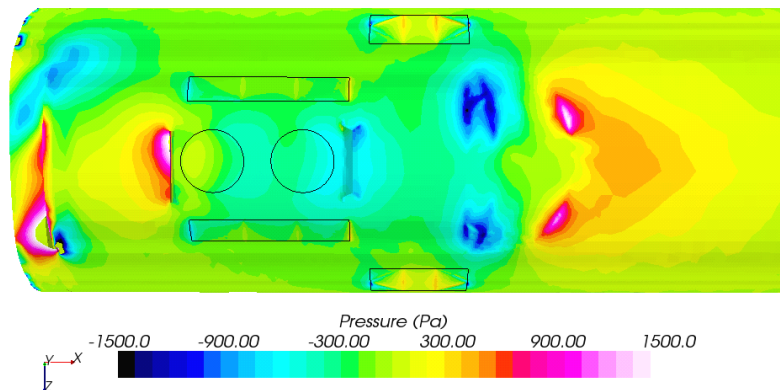


图 3-6 在 1°侧偏角下，2 车空调导流罩处压力分布图

上面给处了两种模型的计算结果，下面对两种模型进排风口的压力大小进行比较，分析在不同的导流罩外形下，其压力值有何变化，是否影响空调机组的正常工作，具体数值见下表：

表 3.1 模型 2 与模型 3 对比分析表

	模型 2	模型 3
1 车新风进风口（new wind inlet）	-186.13	-131
1 车新风进风口（new wind inlet2）	-191.27	-152
1 车冷凝进风口（冷凝 wind inlet）	-450.12	-178
1 车冷凝进风口（冷凝 wind inlet2）	-475.73	-218
1 车冷凝排风口（冷凝 wind outlet）	-396.82	-355
1 车冷凝排风口（冷凝 wind outlet2）	-392.26	-392
2 车新风进风口（new wind inlet）	-160.5	-121
2 车新风进风口（new wind inlet2）	-150.41	-105
2 车冷凝进风口（冷凝 wind inlet）	-457.49	-219
2 车冷凝进风口（冷凝 wind inlet2）	-492.42	-296
2 车冷凝排风口(冷凝 wind outlet)	-79.627	-403
2 车冷凝排风口(冷凝 wind outlet2)	-505.97	-191

从表上的数据可知：

新风进风口处的压力均为负压，但负压值都较小，不会影响进风情况；

冷凝进风口处的压力也同为负压，有利于排风；

冷凝排风口处的压力，对于 1 车而言，两种模型相差不大，且都为负压，有利于排风；而对于 2 车而言，两个排风口处的压力尽不相同，但总体来说模型 2 和 3 的差异不大，且均为负压，有利于排风。

对于冷凝器而言，其进风口和排风口均在导流罩上，从上表中的数据可以看出，模型 2 存在冷凝器进风口的负压绝对值大于冷凝器排风口的负压绝对值，也就是说相对而言进风口处不易进风；而模型 3 的情况恰与模型 2 的相反，有利于进风、排风。

结论

1) 从数值模拟分析和风洞试验结果可知，模型 2 和模型 3 的减阻效果均小于模型 1，而就模型 2 和模型 3 而言，在侧偏角为 0°时，模型 3 的阻力系数最低，但是当存在侧偏角时，模型 3 的阻力系数较模型 2 的偏大，在侧偏角为 10°时，增大约 4%。

2) 对于空调机组进排风功能而言，经过对比分析发现，模型 3 略优于模型 2，但相差不大。

总之，经过对阻力大小、空调机组性能对比分析之后，认为空调导流罩的外形采用模型 2 的方案较佳。

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（保密文件）,2009
- [2] 田红旗.列车空气动力学[M].中国铁道出版社,2007
- [3] 王福军.计算流体动力学分析.北京:清华大学出版社,2004
- [4] 李明 李明高.STAR-CCM+与流场计算.北京:机械工业出版社,2010