

摩托车的空气动力特性数值模拟

Computational Simulation of Motorcycle Aerodynamics

张英朝 张 喆

(吉林大学汽车工程学院 吉林大学机械科学与工程学院)

摘 要：对摩托车的空气动力特性进行研究。借鉴目前汽车空气动力学研究经验，总结摩托车空气动力学研究手段。应用目前比较流行的 CFD 数值模拟进行摩托车的空气动力特性分析。本文介绍了摩托车数值模拟的一般过程，通过对某型号摩托车的数值模拟研究获得摩托车的阻力系数、压力分布等气动特性，为商业 CFD 软件在摩托车工业内的应用提供经验。

关键词：空气动力学 摩托车 计算流体力学数值模拟 STAR-CD

Abstract : It researched the aerodynamic characters of motorcycle. According to the experience of automobile aerodynamics, concluded the means of studying. Using the popular CFD code, numerical simulation was carried out about motorcycle model. It is introduced that the general process of motorcycle aerodynamic simulation, obtained the drag coefficient and pressure distribution and so on. It explored a track for following engineers who will apply CFD in motorcycle industry.

Key words : Aerodynamics Motorcycle CFD (computational fluid dynamics) STAR-CD

1 前言

目前国内在汽车空气动力学方面进行了许多研究^[1]，但是对于摩托车的空气动力特性的研究还很少。国外对摩托车空气动力特性研究起步较早，但是主要集中于竞赛用摩托车领域。随着摩托车在人民群众中的普及，摩托车速度的提高，国内摩托车赛车运动的开展，摩托车的空气动力特性也越来越应该引起人们的重视。安全、节能和环保等方面的法规和标准给摩托车设计提出了更高的要求。摩托车空气动力学在安全、节能和环保方面具有重要意义，通过研究空气动力特性而改善摩托车的动力性、经济性、安全性、舒适性成为重要的研究方向。对于竞争日益激烈的摩托车制造业，通过设计阶段的空气动力学优化而使产品具有更好的动力性、经济性、安全性，无疑会为其产品在市场上站稳脚跟加上重重的砝码。一个优秀的摩托车设计应该是机械工程学、空气动力学、造型设计及人机工程学的完美结合。

在总结摩托车空气动力学研究手段的基础上，应用目前比较流行且比较成熟的计算流体

力学软件 STAR-CD 对某国产公路摩托车的简化模型进行了 CFD 数值模拟，对摩托车的空气动力特性进行分析，为 CFD 技术在摩托车工业的应用提供经验。

2 摩托车空气动力学研究手段

- 风洞试验研究

进行空气动力学研究最可靠，最常用的方法就是进行风洞试验。国内外很早就进行了汽车的风洞试验研究，专业的汽车风洞也建设了很多，然而摩托车的风洞试验还是很少。BMW、YAMAHA、HONDA 等公司曾经对它的一些型号的摩托车做了风洞试验^[2]。

- CFD 数值模拟研究

随着计算机技术和计算流体力学（CFD）技术的发展，开展汽车的空气动力学数值模拟成为可能^[3]，CFD 已经逐渐成为汽车设计中的重要工具。在摩托车空气动力学研究方面，CFD 更能发挥出开发周期短、成本低等优势。目前常用的计算流体力学商业软件如 STAR-CD、FLUENT、CFX^[4]等等都可以进行摩托车空气动力学数值模拟研究。国外已经开展了 CFD 在摩托车设计领域的应用^[5,6]。

3 CFD 数值模拟

数值模拟一般要经过以下几个过程：

- 物理和数字模型的转化、数字模型的修改

如果是对产品车进行分析就要在设计好的实车基础上，通过逆向生成数字模型。对数字模型的要求是要与真实的物理模型几何相似。如对开发初期的方案进行分析，那么通常可以直接获取此开发阶段的数字模型。上面做好的模型并不是直接就可以进行数值模拟，需要进行简化，比如去掉一些过小的部件，如汽车的雨刮器、摩托车的闸线、辐条等，还要封闭一些区域，如汽车发动机的进气口等。这样做的目的是在保证计算结果的前提下简化模型尽可能的减小数值模拟的难度，突出需要解决的问题。通过上面的简化，最终留下来一个一体的封闭的模型，这个模型可以在 CFD 前处理软件中进行网格划分。

- 计算网格的划分

可以选取单独的前处理软件，或者应用大型商业 CFD 求解器的前处理软件。本研究算例是在 STAR-CD 的前处理 Pro Star/Pro am 中完成的。

- 边界条件的建立、求解

根据模拟的要求进行边界条件设置。对于汽车空气动力学数值模拟一般应用高雷诺数低速不可压模型，指定类似与风洞试验的数值模拟的边界条件。根据情况可以进行具有移动地板边界条件的模拟。如果有需要，还要进行热场边界条件的设置。在进行求解

结果输出的设定之后就可以求解了。

● 计算结果的分析

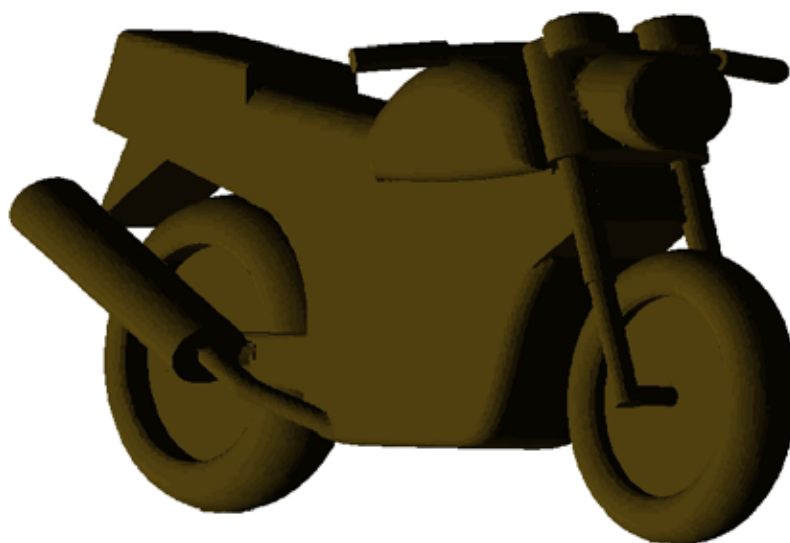
在判定结果可信之后, 根据所关心的参数调用结果数据, 进行后处理, 输出结果图表, 进行空气动力学分析。这是非常重要的步骤, 因为我们所作的的所有的工作都是为了得出结果, 进行分析以对我们的设计起指导性的作用。

4 模拟方案

在上述数值模拟一般过程的基础上进行了某型号摩托车的空气动力学数值模拟。

● 模型建立

应用 CAD 软件根据某一国产车型的产品数据建立简化的摩托车几何数字模型, 如图一。摩托车尺寸: $2010 \times 770 \times 1040$ mm (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)。



图一 摩托车的几何数字模型

● 模拟参数

计算域: $13824 \times 5120 \times 5120$ mm (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)

摩托车尺寸: $2010 \times 770 \times 1040$ mm (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)

湍流模型: 标准的高雷诺数 $k-\epsilon$ 湍流模型

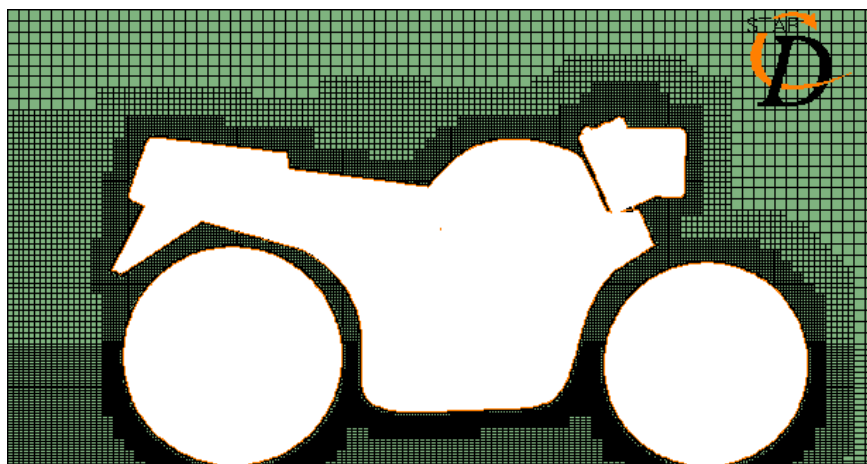
● 边界条件

入口: 速度入口 30m/s

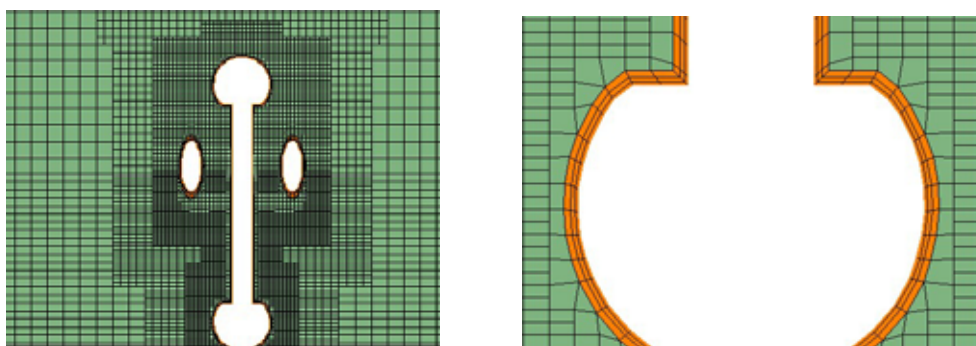
出口: split 出口 地面: slip 滑动地面

● 网格划分

摩托车的网格是在 STAR-CD 的前处理软件—Pro star/Pro am 中生成的。对于复杂的曲面模型, 一般四面体的适应性更好, 划分网格更快, 质量更高。但是 STAR-CD 提供了专业的六面体的结构化网格划分模块 Pro am。在本研究的网格划分上, 采用了 Pro am 使用的结构化六面体结合切割六面体和拉伸棱柱等多种网格的方案。在整个流场的范围内大部分是结构化的正六面体网格, 见图二。在车身表面附近, 由于形状复杂, 曲率变化明显, 又存在边界层, 所以采用了拉伸三层棱柱, 并结合其它切割六面体的网格, 如图三。



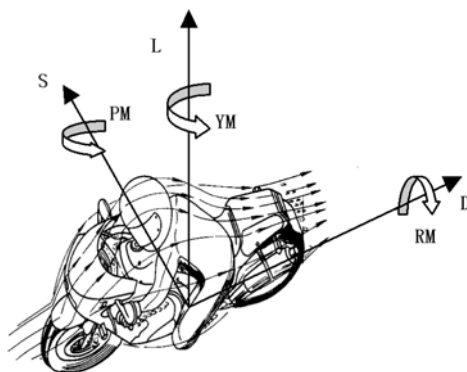
图二 摩托车的周围网格



图三 摩托车的轮胎处网格

●气动六分力

如图四，摩托车有同汽车空气动力特性相似的气动六分力。阻力 D ，升力 L ，侧向力 S ；侧倾力矩 RM ，横摆力矩 YM ，俯仰力矩 PM 。通过计算得到摩托车的空气动力学系数： $C_D=0.5868$ ； $C_S=0.1425$ ； $C_L=-0.1067$ 。该数据与文献[2]、[7]中提供的摩托车的阻力相似。但是由于模型做了很大的简化，实际车型的数据应该更高一些。值得注意的是摩托车由于排气管的不对称导致了侧向力的加大。在设计应该注意侧向力的问题，否则可能很大的安全隐患。由于没有驾乘人员，升力的计算可能差别很大。摩托车的升力问题是非常重要的问题，对于从事专业赛车比赛的摩托车，高速情况下的升力问题是影响赛车整体性能的重要因素，需要进行深入的研究。



图四 摩托车的气动六分力

●表面压力分布

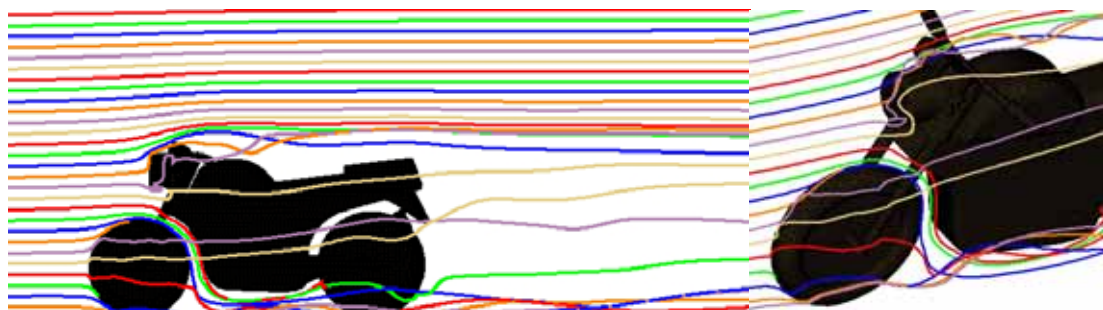
图五是使用 CFD 数值模拟研究的摩托车车身表面的压力分布图，从图中很明显的可以看到车身表面的正压区和负压区，能够直观的看到发动机冷却系的设置是否合理。



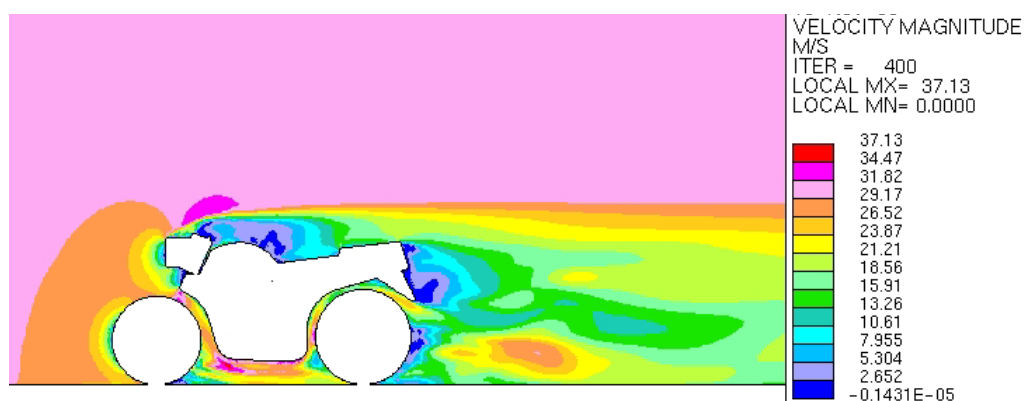
图五 摩托车表面压力分布

●流场显示与分析

图六是摩托车周围的流线，可以看到车轮附近及车尾部的速度的波动。从图七可以看到摩托车尾部尾流的区域也是很大的，摩托车有同汽车类似的尾部涡流。图八可以看到摩托车的正压区域位于车头部。图九是车身中央截面周围的速度矢量场，车头后部的气流十分紊乱，设计车头的导流罩应该可以改善该位置的气流。



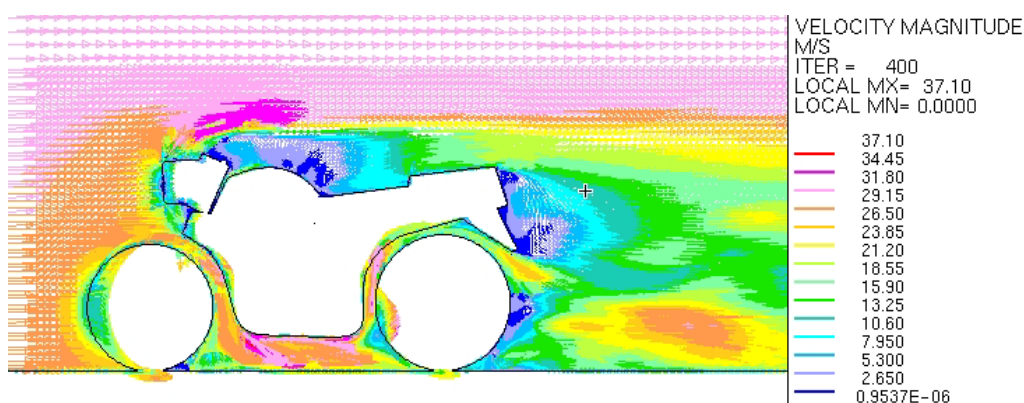
图六 摩托车周围流线



图七 摩托车的尾流场



图八 摩托车的中央截面压力图



图九 摩托车周围速度矢量场

3 总结

摩托车的空气动力特性对摩托车的动力性、经济性、操纵稳定性、发动机冷却系统的位置有重要的影响。为了在竞争激烈的摩托车市场站稳脚跟，就需要进一步改善摩托车的性能，而摩托车的空气动力学性能就是其中非常重要的一部分。空气动力学方面的考虑对于高速的摩托车和比赛用摩托车的设计是非常重要的，可以显著的提高摩托车的性能。

在摩托车设计的初级阶段，在不易进行摩托车风洞试验的情况下，进行摩托车初步的CFD数值模拟研究就显得方便而有效。设计者可以通过得到的摩托车气动系数、速度场、压力场等分析摩托车设计的气动特性。摩托车的空气动力学数值模拟对进行摩托车的造型设计有直接的指导作用，是造型设计初期需要采用的简单有效的空气动力学研究手段。

参 考 文 献

1. 傅立敏 汽车空气动力学 机械工业出版社 1998 年 11 月, pp243-253
2. W.H Hucho, Aerodynamics of Road Vehicle SAE R-177
3. 傅立敏 汽车空气动力学数值计算, 北京理工大学出版社, 2000 年
4. 王福军 计算流体动力学分析——CFD 软件原理与应用 清华大学出版社

5. Mario Angeletti and Lucia Sclafani, The Role of CFD on the Aerodynamic Investigation of Motorcycles, SAE2003-01-0997
6. Gino Bella and Stefano Ubertini, Experimental and Computational Analysis of the Aerodynamic Performances of a Maxi-Scooter, SAE2003-01-0998
7. [日]武藤真理著 程正译 汽车空气动力学 吉林科技出版社 1989 年 10 月 PP145-157