《乘用车空气动力学仿真技术规范》编制说明

**一、工作简况**

1.1 任务来源

《乘用车空气动力学仿真技术规范》团体标准是由中国汽车工程学会批准立项。文件号中汽学函【2017】133号，任务号为2017-6。本标准由中国汽车工程学会汽车空气动力学分会提出，重庆长安汽车股份有限公司、上海汽车集团股份有限公司技术中心、一汽-大众汽车有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、江铃汽车股份有限公司、清华大学、吉林大学等单位起草。

1.2编制背景与目标

在低碳、环保理念日趋深入人心的今天，汽车行业传统的节能、减排方法已经显得力不从心，以追求低风阻造型的汽车空气动力学正扮演着越来越重要的角色。在汽车风洞数量相对较少的中国，提高汽车空气动力学仿真技术水平以更大限度的取代风洞试验显得尤为重要。

在全国汽车空气动力学相关行业联合和全面统筹的基础上，建立一个完整的、开放的汽车空气动力学仿真技术标准体系平台，目的是使应用汽车空气动力学仿真技术的研发企业、科研院所有统一的标准，以最低的时间成本、最佳的仿真方法获得最精确的仿真结果，最大限度的满足汽车新产品开发的需求，规范行业发展和提升工程产品质量，这对扩大行业影响力，提升质量管理水平，充分发挥汽车空气动力学在工程中的作用是非常重要的。本技术规范对我国推进汽车空气动力学技术的发展具有重要意义。

1.3主要工作过程

2017年9月8日，标准研制小组提交《乘用车空气动力学仿真技术规范》标准立项申请书，牵头单位长安汽车股份有限公司完成立项申请汇报；

2017年11月，学会下达任务书；

2018年1-5月，讨论确定大纲以及各单位分工，各单位按照分工完成约75%的标准研制内容，标准组内多次电话会议讨论、修改、确定；

2018年6月15日，在上海召开标准中期考核会议，牵头单位长安汽车股份有限公司进行标准研制过程及进展介绍，标准专家组审议标准（中期考核稿）提出修改建议；

2018年6月-8月，标准组根据专家意见修改标准（中期考核稿），标准组内多次电话会议讨论、修改、确定；

2018年9月7日，在上海召开标准（草稿）审查会议，牵头单位长安汽车股份有限公司针对中期考核意见的修改处理情况进行汇报，标准专家组审议标准（草稿），确定本标准的“1+3”逐条评审专家：杨志刚、孙少云、黄祚华、郭祥麟；

2018年9月-10月，“1+3”评审专家完成标准逐条审查工作，标准研制组按照专家修改意见完成标准内容修改；

2018年11月15日，形成标准（征求意见稿）并公开征求意见，标准研制组将根据反馈意见进行修改形成标准（送审稿）。

2018年12月13日（预计），在上海召开标准审查会。

**二、标准编制原则和主要内容**

2.1标准制定原则

梳理国内各企业现有空气动力学相关规范，借鉴和研究国外空气动力学相关标准，与国内外现有的仿真、试验技术标准相协调，编制我国的《乘用车空气动力学仿真技术规范》标准。在标准研制的过程中，参考了SAE J2966TM Guidelines for Aerodynamic Assessment of Medium and Heavy Commercial Ground Vehicles Using Computational Fluid Dynamics、GB/T 33582-2017 机械产品结构有限元力学分析通用规则等标准。本标准针对基于N-S方程和L-B方法两种思路的空气动力学仿真，就仿真模型建立、仿真内容及流程、仿真结果后处理及仿真分析报告等方面作了较详细的规定，以确保空气动力学仿真结果的准确性及一致性。

2.1.1通用性原则

本标准提出的乘用车空气动力学仿真技术规范不仅适用于轿车、SUV、MPV等乘用车，同时也适用于七座及以下低端商用车及皮卡车型的空气动力学仿真，通用性高。

2.1.2指导性原则

本标准提出的方法能为乘用车空气动力学仿真提供指导作用。目前国内尚无关于汽车空气动力学仿真方法的行业标准，本标准是汽车行业空气动力学仿真的首份标准。

2.1.3协调性原则

本标准提出的术语、工况等内容与《乘用车空气动力学性能标准》中的术语、工况协调统一、互不交叉。作为一种指导仿真方法的标准，对目前乘用车空气动力学标准体系进行补充。

2.1.4兼容性原则

本标准提出的乘用车空气动力学仿真方法充分考虑了计算流体力学行业里用到的各种方法、思路，具有普遍适用性。

2.2 标准主要技术内容

本标准正文共7章，规定了乘用车空气动力学仿真方法和技术要求。内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、仿真的内容及流程、仿真模型建立、仿真结果后处理、仿真分析报告及附录等。

2.3关键技术问题说明

本标准规定了仿真的内容及流程、仿真模型建立、仿真结果后处理、仿真分析报告。

针对当前两种主流的空气动力学仿真求解方法： N-S方程和L-B方法，分别提出了相应推荐的建模方法、物理模型选择及求解器设置等内容。

（1）仿真模型建模基本方法：

仿真模型应准确地表达设计车的几何信息，以保持原有几何形状为前提，提出了仿真模型的建模要求，对仿真模型状态、模型细节处理要求、最小计算域尺寸推荐、冷却模块交界面处理方式、车轮建模要求等内容进行了说明。并对网格规模不少于3000万时，不同零部件的计算节点生成尺寸、网格加密区域进行了详细的描述。

（2）物理模型： 基于N-S方程和L-B方法，提出了根据各自计算资源进行选择。在附录B中针对不同的计算节点规模、计算方案、湍流模型选择方案，评估了计算精度。

（3）求解器设置：分别基于稳态和瞬态求解方法，给出了求解设置方法、计算步数要求、收敛停止判定准则。

2.3.3 方法验证

为了验证以上方法的准确性，按照标准文本中提出的建模方法、物理模型及求解器设置等，完成了仿真验证，并与风洞试验结果进行了对比，误差范围控制在3-5%，证明了该方法具有很好的适用性。

2.4标准主要内容的论据

乘用车空气动力学仿真技术规范由仿真模型建立、生成计算节点、物理模型设置、求解、结果输出后处理几部分组成。

（1）仿真模型建立及生成计算节点。按照仿真模型建模要求完成仿真模型的创建，根据计算资源选择计算节点生成方式和规模。当采用N-S方程求解时，采用稳态计算，推荐网格规模不小于3000万，采用瞬态计算时，推荐网格规模不少于6000万。当采用L-B方法求解时，推荐采用瞬态计算，计算节点规模不小于1亿。

（2）物理模型设置。设定计算域进出口的边界条件，计算域进口边界条件设置为速度进口，速度大小设置为120km/h，计算域出口边界条件设置为压力出口，压力设置为0 Pa，通过湍流强度加特征长度的方式设置湍流属性，湍流强度推荐设置为0.01，特征长度推荐设置为0.001m。参照标准文本完成冷却模块、车轮边界条件的设定。基于N-S方程求解时，采用稳态计算时，推荐选择可实现的$k-ε$湍流模型，采用瞬态计算时，推荐选择DES湍流模型。基于L-B方法求解时，推荐采用瞬态计算，选择LES湍流模型。

（3）求解过程。对于稳态求解计算，要求运行步数不少于3000步。采用气动阻力系数监控时，如果在最后迭代步数500步内，气动阻力系数的波动值小于0.001，则可视为计算稳定。对于瞬态求解计算，计算时间步长推荐设置为0.0005s。第一步采用稳态计算，计算步数及收敛停止判定同稳态计算；第二步采用瞬态计算，根据单个时间步内的收敛情况，内迭代步一般为20步至30步，计算物理时长为1s至2s，视收敛情况而定，在停止前至少0.5s时长内，气动阻力系数处于周期性稳定波动期。基于L-B方法，风阻系数的结果是随时间步变化的曲线，一般采用向后平均的方法来判定结果的收敛以及获取较为合理的分析值，至少需要运行65000时间步。在Settled Average区间（20K-26K）在0.001内波动，则可认为结果收敛。

（4）仿真结果输出及后处理

获得车辆在行驶时车身所受到的气动力及相关空气动力学参数，如气动阻力、气动升力、侧向力以及纵倾力矩、横摆力矩和侧倾力矩等。通过后处理程序显示流场信息云图，通过对这些参数和云图的分析，评价汽车的气动性能。

2.5标准工作基础

标准起草牵头单位重庆长安汽车股份有限公司，具备完整的乘用车空气动力学性能开发能力。其中包括乘用车空气动力学性能目标制定、乘用车空气动力学仿真及优化，乘用车风洞试验验证方法等。其他主要单位包括了同样具有丰富乘用车空气动力学仿真经验的上海汽车集团股份有限公司技术中心、一汽-大众汽车有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、江铃汽车股份有限公司，以及在流体力学、数值模拟仿真理论研究方面均有深厚造诣的清华大学、吉林大学。保证了编写小组在乘用车空气动力学仿真实践和理论两方面都有经验丰富的专家、学者和工程师。经过大量的仿真计算及仿真对比试验结果，本标准提出的空气动力学仿真方法准确度及可靠性满足乘用车开发需求，证明了本标准具有一定的先进性、通用性、科学性和可操作性。

**三、主要仿真（或验证）情况分析**

1）仿真流程清晰：几何模型输入、计算节点生成、物理模型边界设置、计算求解、计算结果后处理；

2）仿真时间短、效率高，随着计算硬件地不断升级、进步，现在完成一次高精度整车空气动力学仿真的时间比5年前缩短了50-80%，且可以同时运行多个算例，保证在第一时间将结果反馈给造型或外饰部门进行工程化评价；

3）以仿真为主的乘用车空气动力学开发方法，可以让车企或研究机构减少测试模型/工装车的生产，并缩短风洞试验时间，大幅度节约开发成本；

4）准确性高，经过验证，严格按照本标准推荐方法进行仿真，计算结果与风洞试验误差在5%以内，满足工程开发需求。

综上所述，本标准提出的仿真方法对于当前乘用车空气动力学性能开发有极大推动作用，不失为中国车企进行新车空气动力学性能开发的主导方法。

**四、标准中涉及专利的情况**

本标准内容不涉及专利问题。

**五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用的情况**

本标准的发布，标志着乘用车空气动力学仿真领域有了国家级团体标准，可以更好地指导更多企业、高校进行乘用车空气动力学仿真，也为行业内乘用车空气动力学仿真提供了一致性的参考标尺。有利地推动了我国国产乘用车空气动力学开发方法、手段的进步。一个成熟、科学的乘用车空气动力学仿真标准，可以为企业在每款新车型开发上节约上百万的试验成本，同时带动我国整体乘用车空气动力学性能提升，减少化石燃料消耗、降低碳排放，为国家推行的绿色、环保的理念做出巨大贡献。

**六、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析或与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况**

尚无。

**七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性**

本标准符合国家有关法律、法规和相关强制性标准的要求，与现行的国家标准、行业标准相协调。

**八、重大分歧意见的处理经过和依据**

尚无。

**九、标准性质的建议说明**

本标准为中国汽车工程学会标准，属于团体标准,供协会会员和社会自愿使用。

**十、贯彻标准的要求和措施建议**

推荐按照本标准提出的乘用车空气动力学仿真方法对乘用车空气动力学性能进行仿真、优化，对仿真人员进行理论学习和操作培训，保证仿真方法操作的准确性。

**十一、废止现行相关标准的建议**

本标准是首次发布，未来的更新、修订计划如下：

1. 一年之后，空气动力学立项委员会综合收集到的反馈意见，审视是否有必要修订《汽车空气动力学仿真技术规范》；
2. 定期搜集空气动力学仿真技术相关的新技术、方法，三年或五年之后，再次讨论修订标准的必要性。

**十二、其他应予说明的事项**

无。

标准起草工作组

2018年11 月2日