

面向2025年版C-NCAP侧面碰撞工况的 整车结构性能研究

张东明 钱志华 孙金霞 龚超 胡雪芬 赵毅

(蔚来,上海 200233)

【摘要】分析了新版中国新车评价规程(C-NCAP)侧面碰撞壁障的主要变化及整车结构面临的挑战,同时基于某车型在采用新版侧面碰撞壁障试验条件下的有限元分析结果,分析了碰撞后整车结构变形的差异及变化,针对车门及B柱提出了提升材料强度及厚度、增大门盖与车身搭接面积等改进方案,相对于传统解决方案质量减轻15%。

关键词:侧面碰撞 中国新车评价规程 整车安全开发 结构耐撞性

中图分类号:U467.1*4

文献标志码:A

DOI: 10.20104/j.cnki.1674-6546.20230117

Research on Vehicle Crashworthiness in Side Impact of C-NCAP 2025

Zhang Dongming, Qian Zhihua, Sun Jinxia, Gong Chao, Hu Xuefen, Zhao Yi

(NIO, Shanghai 200233)

【Abstract】This paper analyzed the main changes of new China-New Car Assessment Program (C-NCAP) side crash barrier and challenges of vehicle structure, simultaneously analyzed the difference of vehicle structure deformation after impact based on side impact FEA result of a vehicle under new side impact test condition. The paper also proposed to improve material strength and thickness of doors and B pillar, enlarge the area joining door cover with auto body, this proposal achieved a weight reduction of 15% compared with the traditional solution.

Key words: Side impact, C-NCAP, Vehicle safety development, Crashworthiness

【引用格式】张东明,钱志华,孙金霞,等.面向2025年版C-NCAP侧面碰撞工况的整车结构性能研究[J].汽车工程师,2023(6):26-31.

ZHANG D M, QIAN Z H, SUN J X, et al. Research on Vehicle Crashworthiness in Side Impact of C-NCAP 2025 [J]. Automotive Engineer, 2023(6): 26-31.

1 前言

在机动车交通事故中,侧面碰撞事故约占事故总数量的41.8%^[1],远超正面碰撞及追尾碰撞所占的比例。

国内外诸多机构制定了相应的规程用以评价车辆的安全性。经过十余年的发展,中国新车评价规程(China-New Car Assessment Program,C-NCAP)测试项目覆盖了乘员保护、行人保护及主动安全等多个方面。根据规划,2025年版C-NCAP管理规则将对碰撞工况进行升级,由新型移动变形壁障(Advanced European Mobile Deformable Barrier,AE-MDB)更新为中国先进移动变形壁障(Advanced

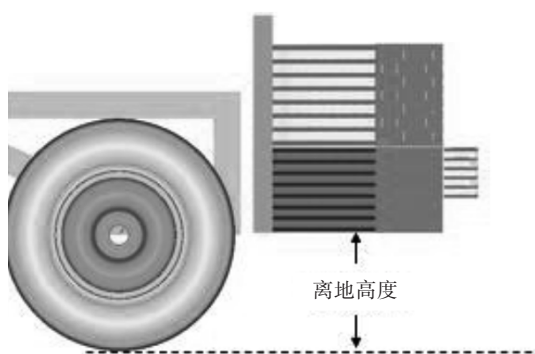
Chinese Mobile Deformable Barrier,SC-MDB),进一步提高了对车辆侧碰性能的要求。

本文对比2种壁障的特性及某车型在采用2种壁障时碰撞结果的差异,分析采用新规程条件下整车侧面碰撞开发面临的问题,并提出相应的改进方向。

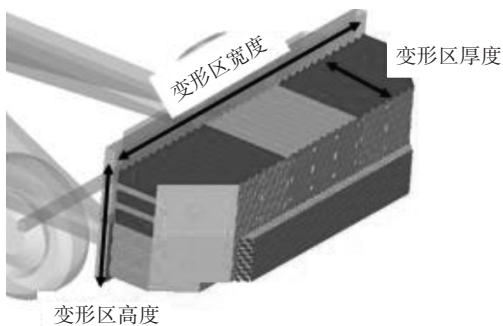
2 壁障差异分析

不同碰撞试验结果主要受侧面碰撞壁障台车自身质量、碰撞速度、离地高度、变形区尺寸以及变形区刚度等因素的影响,离地高度为壁障台车车轮最下端与变形区下表面的垂向高度差,变形区尺寸为壁障台车前端可变形区域(材料多为蜂窝铝)的宽度、高度及厚度,如图1所示。AE-MDB和SC-MDB

台车参数如表1所示。



(a)壁障台车离地高度定义



(b)壁障台车变形区尺寸定义

图1 壁障台车主要尺寸

表1 AE-MDB与SC-MDB台车参数

参数	AE-MDB台车	SC-MDB台车
质量/kg	1 400	1 700
碰撞速度/km·h ⁻¹	50	60
离地高度/mm	350	350
变形区高度/mm	500	550
变形区宽度/mm	1 700	1 800
变形区厚度/mm	500	600

由表1可知:SC-MDB台车比AE-MDB台车质量增加300 kg,碰撞速度提高10 km/h,整体碰撞能量提升75%;变形区宽度增加100 mm,对部分短轴距车型,C柱与壁障台车重叠量增大,承载增加;变形区厚度增加100 mm,考虑到绝大部分车型的侧面碰撞工况中壁障变形区未完全压溃,此变化对整车侧面碰撞性能影响较小。

针对壁障台车变形区刚度,构建壁障台车刚性墙冲击模型进行有限元分析,如图2所示。设置一面全约束的刚性墙,将AE-MDB和SC-MDB台车按相应碰撞速度撞击刚性墙,读取撞击过程中刚性墙压强。考虑到AE-MDB和SC-MDB台车变形区蜂窝铝在其宽度方向上分为3个区域,冲击力按照3个区域分别读取,分析结果如图3所示,其中台车位移为壁障台车与刚性墙接触时起壁障台车移动的距离。

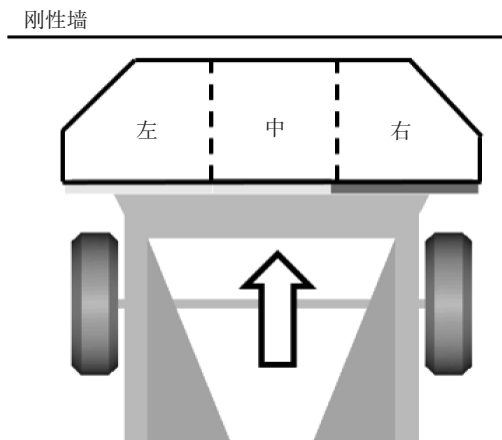
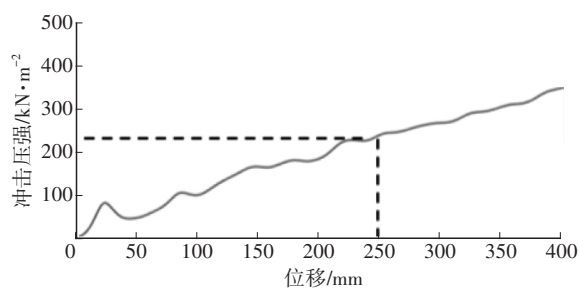
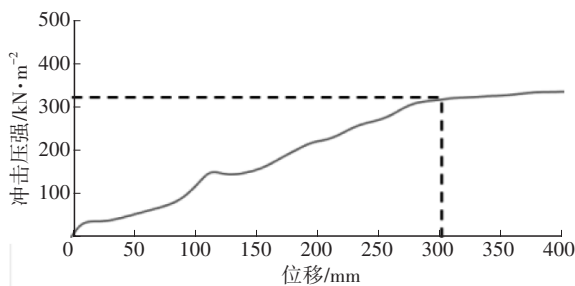


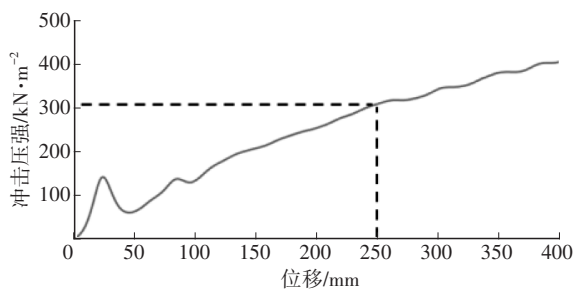
图2 壁障台车刚性墙冲击模型



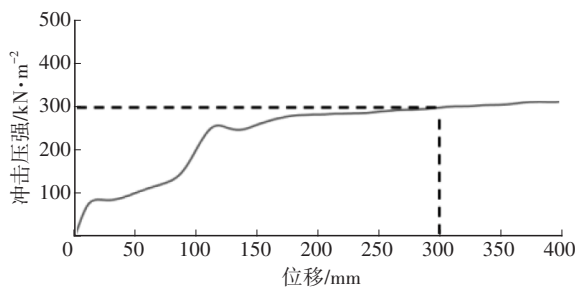
(a)AE-MDB-左



(b)SC-MDB-左



(c)AE-MDB-中



(d)SC-MDB-中

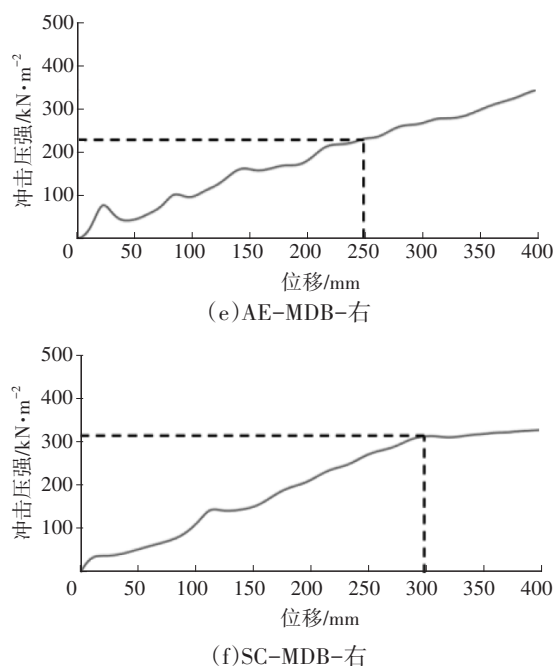


图3 壁障台车刚性墙冲击模型碰撞冲击压强

由图3可知:AE-MDB台车变形区左、中、右侧的半程压强(即壁障压溃一半厚度时的单位面积冲击力)分别为240.1 kN/m²、313.5 kN/m²、234.2 kN/m²;SC-MDB台车变形区左、中、右侧的半程压强分别为319.6 kN/m²、298.9 kN/m²、327.4 kN/m²。AE-MDB台车变形区左、右2个区域单位冲击力基本一致,中部的单位冲击力比两侧高约30%,呈现“中间硬、两边软”的规律。这种设计将较多的碰撞载荷传导至B柱,对B柱性能要求较高,而车门区域的碰撞载荷相对较低。SC-MDB台车变形区左、中、右3个区域单位冲击力差距小于10%,刚度基本一致。

对比2种壁障台车可以发现,AE-MDB台车中部区域的单位冲击力与SC-MDB台车的单位冲击力基本一致,但左、右2个区域的单位冲击力显著偏低,因此,SC-MDB台车碰撞工况下车门将承担更大比例的碰撞载荷,SC-MDB台车碰撞能量的提升对车门的要求将高于对B柱的要求。

基于某车型,分别利用AE-MDB台车和SC-MDB台车进行侧面碰撞有限元分析,碰撞后壁障台车的变形及溃缩量如图4所示。2种壁障台车的变形模式基本一致,中部区域及左、右边界位置溃缩量较大,左、右侧中部溃缩量较小,壁障台车整体变形呈现波浪状。SC-MDB台车左、中、右3个区域侧溃缩量较AE-MDB台车分别高83 mm、106 mm、113 mm,差异较小。

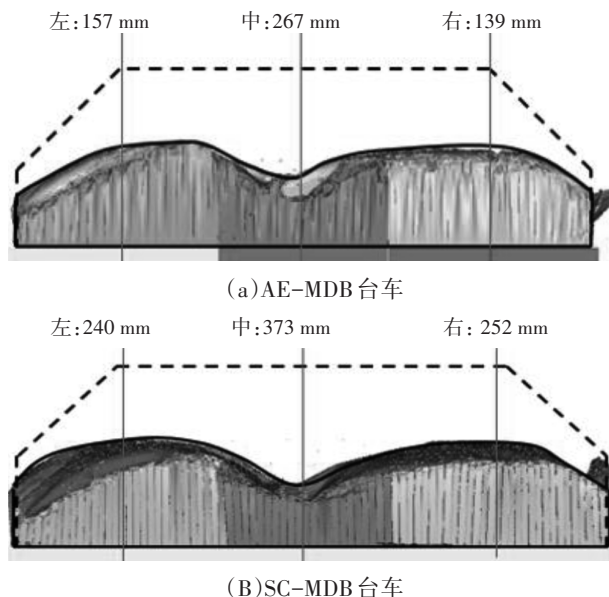


图4 AE-MDB及SC-MDB台车变形及溃缩量

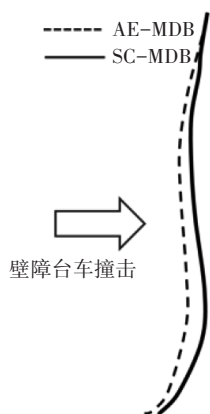
3 整车侧面碰撞模拟分析

在侧面碰撞试验中,壁障台车的碰撞载荷主要由试验车辆前、后车门及B柱承担。对于特定轴距及离地高度的试验车辆,C柱及门槛也可承担部分碰撞载荷。基于某车型分别进行AE-MDB及SC-MDB台车的侧面碰撞模拟分析,提取2个工况下该车型B柱最大侵入量、C柱最大侵入量和车门最大侵入量,如表2所示,其中AE-MDB台车碰撞工况对应的侵入量均已化归为100%。

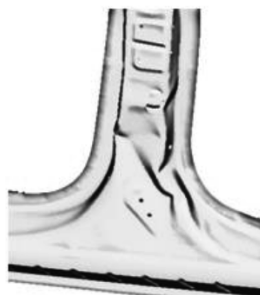
表2 某车型侧面碰撞工况下结构最大侵入量 %

部位	AE-MDB台车	SC-MDB台车
B柱	100	122
C柱	100	316
前门上部	100	110
前门中部	100	139
后门上部	100	119
后门中部	100	157

由表2可知,在SC-MDB台车碰撞工况下,B柱最大侵入量增加22%。2种工况下B柱变形如图5所示。SC-MDB台车碰撞工况下B柱变形模式及B柱外板变形区域与AE-MDB台车碰撞工况下保持一致,但B柱外板变形区变形程度提高。SC-MDB台车碰撞工况C柱最大侵入量提高了216%,其原因主要包括:SC-MDB台车的右边界位于分析车型的C柱区域,对C柱造成较大冲击;SC-MDB台车右侧变形区刚度较AE-MDB台车显著提升。



(a) B柱变形轮廓线



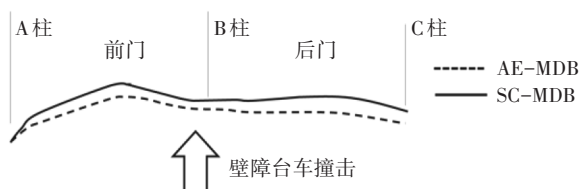
(b) AE-MDB 台车碰撞工况 B 柱变形情况



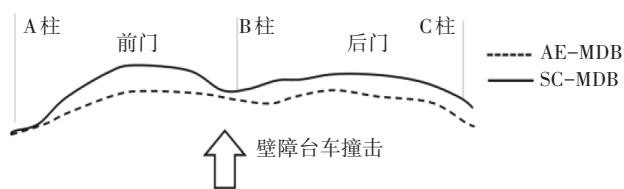
(c) SC-MDB 台车碰撞工况 B 柱变形情况

图5 SC-MDB与AE-MDB台车碰撞工况B柱变形情况

车门变形轮廓线如图6所示。SC-MDB台车碰撞工况下前、后车门上部(腰线位置)侵入量分别增加10%和19%,变形模式与AE-MDB台车碰撞工况基本一致。此区域侵入量增加相对较小,主要是因为试验车辆车门上部不在壁障台车变形区域覆盖内。由于车门中部已被壁障台车变形区域覆盖,在SC-MDB台车碰撞工况下前、后门侵入量分别增加39%和57%,侵入量增幅较车门上部区域明显变大。



(a) 车门上部



(b) 车门中部

图6 SC-MDB与AE-MDB台车碰撞工况车门变形轮廓线

从变形模式上看,不同于AE-MDB台车碰撞工况下门板的整体变形,SC-MDB台车碰撞工况下前门中部呈现弯曲变形,变形后前门状态如图7所示。SC-MDB台车碰撞工况下碰撞后前门防撞梁弯折变形较大。在这种弯曲变形模式下,车门整体存在滑入乘员舱的趋势,车门侵入量大幅增加,提高了车门铰链、锁钩断裂的风险^[2-3]。试验车辆的后门被壁障台车变形区完全覆盖,因此SC-MDB台车碰撞工况下后门中部的变形模式仍以整体变形为主。由前门变形模式可以预见,对于一些轴距较长的车型,若壁障变形区无法完全覆盖后车门,则后门变形模式将变为弯曲变形。

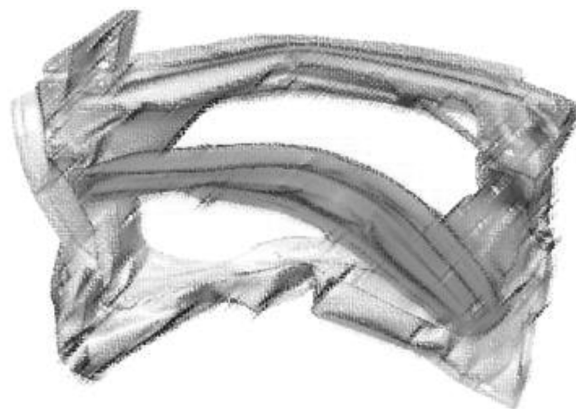


图7 SC-MDB台车碰撞工况前门变形状态

通过对比B柱变形和车门变形可以发现,SC-MDB台车碰撞工况下B柱变形增加量小于车门变形增加量,这也印证了前文关于壁障台车变形区刚度的论述,即SC-MDB台车变形区左、右两侧区域刚度提升,其相对于AE-MDB台车提升的碰撞能量将更多地传递至车门,因此车门侵入量增加大于B柱侵入量的增加。

4 SC-MDB台车碰撞工况结构优化措施

针对SC-MDB台车碰撞工况下的结构优化措施可分为B柱优化和车门优化2个方面。首先,尽管SC-MDB台车碰撞工况下B柱变形模式未发生明显变化,但B柱是侧面碰撞工况下主要的承载件及

吸能件,仍需加强B柱结构(尤其是B柱变形吸能区)以吸收SC-MDB台车的碰撞能量提升。激光拼焊技术是一种行之有效的方案,如图8所示,以拼焊分缝位置及B柱外板上、下段厚度作为优化变量,利用试验设计(Design of Experiments, DOE)方法优化出满足B柱侵入量要求且质量最轻的方案。该方案可在保证B柱结构强度的前提下,最大限度地限制质量增加。

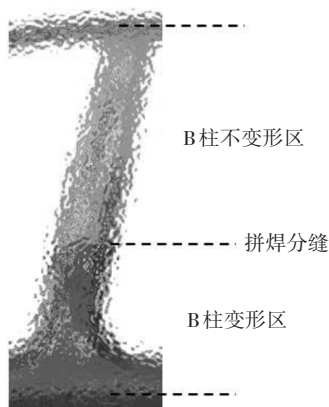
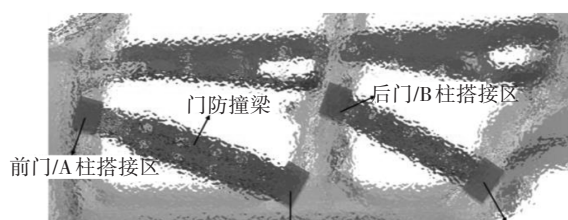
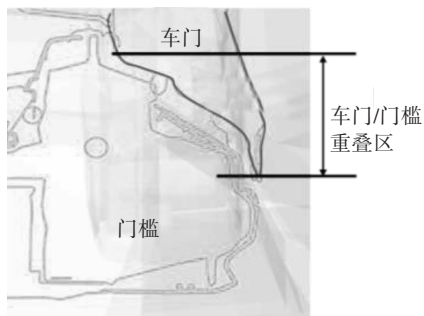


图8 B柱外板拼焊方案

SC-MDB台车碰撞工况下车门的弯曲变形一方面显著增大了乘员保护的难度,另一方面增大了因车门锁钩、铰链失效造成车门整体脱落的可能^[4]。为此,一方面需要加强车门防撞梁、腰线加强板等承力件,加强方式包括提升材料强度、增大截面和厚度尺寸;另一方面,车门与B柱、C柱以及门槛之间的关键搭接区域(见图9)应保证足够的搭接面积,确保车门碰撞载荷有效传导至车身结构。



(a)车门与上车身搭接区域侧视图



(b)车门与车身门槛搭接区域断面图

图9 车门与车身关键搭接区域

基于DOE优化方法,试验车辆B柱外板变形区料厚需提升30%,前车门防撞梁料厚提升35%,腰线加强板材料强度提升50%,分析结果如表3所示。实施上述方案后B柱侵入量降低20%,车门侵入量平均降低14.3%,均与AE-MDB台车碰撞工况下的侵入量相近。相对于传统的一体式B柱外板,基于DOE的B柱外板拼焊方案可在满足侵入量要求的前提下,质量减轻15%。

表3 某车型SC-MDB工况优化方案分析结果 %

部位	SC-MDB工况侵入量	SC-MDB工况优化后侵入量	侵入量降幅
B柱	122	98	20
前门上部	110	93	16
前门中部	139	111	20

5 结束语

本文通过构建刚性墙冲击模型对比分析了AE-MDB台车与SC-MDB台车的特性,同时基于某试验车辆有限元分析结果,对比了2种工况下整车侵入的差异和变化,提出了优化措施,可得出如下结论:

a. SC-MDB台车相对于AE-MDB台车碰撞能量增加75%;SC-MDB台车变形区左、右两侧区域刚度较AE-MDB台车提升约30%。壁障台车升级后,车门侵入量的增加大于B柱侵入量的增加。

b. SC-MDB台车碰撞工况下B柱变形模式及变形区域未发生变化,变形程度及侵入量增加。为提高B柱强度并降低侵入量,需对B柱进行加强,提升吸能量。

c. SC-MDB台车碰撞工况下,车门由AE-MDB台车碰撞工况下的整体变形侵入变为弯曲变形侵入,在增大侵入量的同时增加了车门脱落的风险。因此,需要加强车门防撞梁、腰线加强板,并保证车门与车身的关键搭接区域有足够的搭接面积,在控制弯曲的同时将碰撞载荷传导至B柱、C柱,保证整车结构完整性。

参考文献

- [1] 公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计年报(2015年度)[EB/OL]. [2023-03-29]. <https://max.book118.com/html/2019/1023/8073053043002057.shtm>.
Transportation Authority, the Ministry of Public Security of the PRC. Traffic Accident Annual Reports of PRC (2015) [EB/OL]. [2023-03-29]. <https://max.book118.com/html/2019/1023/8073053043002057.shtm>.

- [2] 吴欢辉, 吴黎, 李荣. 侧面碰撞过程中前门异常开启问题的改进[J]. 汽车工程师, 2021(6): 39-42.
WU H H, WU L, LI R. Improvement of Door Open Issue during Side Impact Test[J]. Automotive Engineer, 2021(6): 39-42.
- [3] 刘哲, 王鹏, 翟玉峰, 等. 侧碰过程中侧门异常开启的探测和解决方法[J]. 汽车工程师, 2015(1): 53-55.
LIU Z, WANG P, ZHAI Y F, et al. Discussion and Countermeasures for Side Door Abnormal Opening during Side Impact[J]. Automotive Engineer, 2015(1): 53-55.
- [4] 胡远志, 邹缘良, 刘西, 等. 基于不同新车评价规程的侧面碰撞仿真分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2017, 31(4): 1-9.
HU Z Z, ZOU Y L, LIU X, et al. Side Impact Simulation Based on Different Vehicle Evaluation Regulations[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2017, 31(4): 1-9.

(责任编辑 弦歌)

修改稿收到日期为2023年3月29日。

《汽车工艺与材料》投稿须知

《汽车工艺与材料》杂志创刊于1986年,是由中国第一汽车集团有限公司主办的国内外公开发行的汽车制造类月刊、中国汽车工程学会会刊,是全面报道汽车先进制造工艺与材料应用的专业性杂志。

《汽车工艺与材料》杂志始终致力于汽车制造新技术的开发(如汽车制造领域中的四大工艺)、新材料的研究应用、轻量化技术、智能制造、绿色制造技术、加工技术、生产装备、检测技术、数字化模拟技术及生产管理等方面的报道,努力为汽车及零部件生产中各门类的决策者及研究开发人员提供更好、更快、更节约成本的汽车行业发展动态信息,为其适应国内与国际激烈的汽车生产市场竞争提供有效的帮助。

《汽车工艺与材料》杂志关注领先的整车及零部件企业和材料、装备等供应商,及时报道汽车行业最新的设计、制造、材料、加工技术、生产装备、检测技术等方面的成功案例。

主要栏目:

AT&M视界、生产现场、材料应用、生产装备、检测技术、数字化园地、行业动态等。

投稿要求:

- (1)来稿须具有独创性并与实践相结合,文章字数最好控制在6000字以内。
- (2)来稿不能在国内、外公开杂志上发表过,严禁一稿多投,对一稿多投者,编辑部将视对本刊声誉、工作上造成的影响程度,采取相应处理措施。
- (3)来稿的试验方法、试验数据、试验结论必须准确、可靠。
- (4)来稿须包括以下项目:题名、作者姓名、作者单位、中文摘要(200字左右)、参考文献等。来稿采用word文档的格式。
- (5)来稿文章格式应符合一般科技论文格式,或参考近期刊所刊登文章格式。
- (6)稿件图片请发清晰原图,图形尺寸应适中,并配上图名和图号,且文中要有相应体现(例如:如图1所示、见图2等)。图中英文需要翻译成中文。
- (7)计量单位必须采用(或换算成)中华人民共和国法定计量单位。文章中外语字母大小写、上下角标应书写正确,避免同一符号代表2种及以上物理量的情况出现。
- (8)文章必须附有公开发表的参考文献,且在文中应标注文献引用处。参考文献注录项目应齐全,包括作者姓名、题名、刊名(或书名,图书应注明出版地与出版社)、出版年、卷、期。
- (9)请在来稿时注明作者联系方式(包含手机、办公室电话、E-mail等)。
- (10)本刊投稿网址:<http://qcgycj.cbpt.cnki.net>。咨询电话:0431-82028069。

竭诚欢迎汽车行业及相关各界的专家学者积极向本刊投稿。