

基于汽车低速碰撞的尾部安全性能分析和改进

龙述尧¹, 许莹莹¹, 曾 堦¹, 黄健梓²

1. 湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 长沙 410082
2. 广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院, 广州 510640

摘要 中国城市的交通比较拥堵, 汽车在日常行驶中常发生倒车、追尾等事故, 造成汽车后保险杠甚至车体损伤。针对汽车低速尾部碰撞事故, 本文建立了汽车整车有限元模型, 从吸能和对车体的保护角度评价保险杠系统的保护能力。根据仿真结果, 将保险杠横梁的材料选为高强度钢, 对保险杠系统的碰撞性能进行改进。结果表明, 改进后的保险杠系统不仅满足碰撞法规要求, 而且实现了减重 45% 的轻量化目标。

关键词 低速碰撞; 保险杠; 耐撞性; 轻量化

中图分类号 U469.11

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.02.08

Rear Safety Performance Analysis and Improvement Based on Automobile Low-speed Collision

LONG Shuyao¹, XU Yingying¹, ZENG Yuan¹, HUANG Jianzi²

1. State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China
2. Automotive Engineering Institute, Guangzhou Automobile Group Company Limited, Guangzhou 510640, China

Abstract In the recent years, the traffic condition becomes increasingly crowded in Chinese cities. Tail-crash and reverse-collision take place every now and then in the daily drive, which cause damages to a rear bumper or even the body of vehicle. A finite element model of one vehicle was established and the protective performance of the rear bumper in the vehicle was studied from the energy absorption and body protections for the vehicle under the condition of rear-end accidents with a low speed. As a result of the environmental protection and the energy conservation, automobile lightweight already became the tidal current of the world automobile develops. Under the condition guaranteed the safety performance of the vehicle, the automobile should work towards light weighed target improvement. According to the simulation results, the material used for the beams on the rear bumper were modified to high-tensile steel, which made the crashworthiness of rear bumper remarkable improved. The result indicates that the bumper system after modified not only satisfies the requirements of the collision law and regulation, but also makes the weight of the bumper system reduce by 45%.

Keywords low-speed collision; bumper; crashworthiness; light weighting

0 引言

中国交通事故中, 发生正面碰撞的比例较大, 因此在研发过程中, 汽车前端的耐撞性能得到足够的重视。然而根据国家交通管理部门的相关数据则显示^[1], 2009 年中国共发生道路交通事故 238351 起, 其中追尾案例超过 6 万次, 占事故

总数的 25% 以上, 汽车尾部安全重要性越来越引起人们的关注。目前国内在对汽车低速碰撞安全性能的研究中^[2], 侧重分析的是汽车前端结构的安全性能, 而尾部的低速碰撞安全性能研究得较少, 而且往往把保险杠独立出来作为研究对象进行分析^[3], 没有包括车身结构, 这有可能导致得出的结果与实

收稿日期: 2010-09-27; 修回日期: 2010-11-29

作者简介: 龙述尧, 教授, 研究方向为计算固体力学、无网格方法、分子动力学、CAE 理论及应用, 电子信箱: sylong@hnu.cn

际情况偏差较大。为此,本文以某款轿车为例,利用 Hyper-mesh 建立其整车有限元模型,并应用显式非线性动力分析有限元软件 LS-DYNA 进行计算求解,分析汽车尾部在低速对中和角度碰撞时保险杠系统对车体的保护能力,并根据仿真结果对汽车后保险杠系统改进。

1 有限元建模

按照 GB 17354—1998^[4]的要求,试验车辆将进行低速对中和碰撞试验和角度碰撞试验,其中,角度碰撞沿着与车辆纵向对称面呈 60°角的方向进行。低速对中和角度碰撞的试验速度分别为 4,2.5km/h。碰撞器的有效质量与试验车辆的“整车整备质量”相等,重心与撞击中心位于同一高度,离地 445mm。

法规要求,汽车进行后端低速碰撞试验后,除了后保险杠和直接将保险杠安装到车架上的安装件和紧固件外,其他表面无脱落、无变形;其他部件能正常开启和工作^[4]。

本文以某轿车为研究对象,建立其车身有限元模型,并详细介绍保险杠的有限元建模。其后保险杠为吸能式保险杠,由保险杠蒙皮、吸能泡沫、保险杠横梁、横梁支架以及后端板组成,结构如图 1 所示。

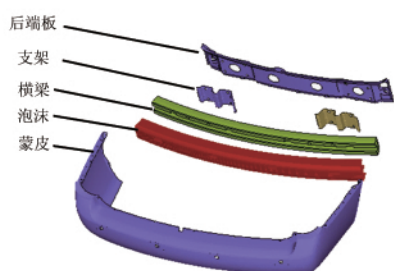


图 1 后保险杠结构

Fig. 1 Structure of rear bumper system

(1) 单元大小及类型选择。网格尺寸以 10mm 为基准,单元尺寸不小于 3mm。2 号 B-T(Belytschko-Tsay)壳单元类型采用单点积分算法,可能出现沙漏模式,16 号全积分单元可以避免沙漏问题,但耗时长。为减少计算时间,本模型中碰撞的关键部位选用全积分单元类型,其他部件定义为 B-T 单元,同时添加全局沙漏控制。

(2) 材料模型。汽车车身的组成部件大部分是钢材,选用 24 号分段多线性弹塑性模型模拟,同时考虑应变率的影响,材料的主要参数如表 1 所示。泡沫则用体单元建模,选用 57 号低密度泡沫材料,密度为 30g/L。为避免泡沫发生大变形时产生负体积,可在泡沫体单元表面覆盖一层壳单元,同时进行沙漏控制。

(3) 连接方式。汽车车身各部件之间通常通过焊接、螺栓、铰链等方式连接,分别用实体的 Spotweld、刚性单元和

Joint 单元模拟,且不考虑焊点失效。

(4) 接触。接触的定义是分析碰撞问题的关键。为了检查部件之间以及部件自身可能发生的接触,在整体定义自动单面接触;在碰撞的关键区域,需要详细定义部件间的接触。

(5) 边界条件。法规规定,在低速碰撞试验中刹车必须放开,因此整车模型在 x 方向自由度不受约束。

表 1 保险杠系统各部件材料主要参数

Table 1 Main material parameters of the bumper system

	密度 $/(10^{-6}\text{kg}\cdot\text{mm}^3)$	杨氏模 量/GPa	泊松比	屈服应 力/MPa	失效应 变/%
蒙皮	0.89	0.9	0.45	13.8	—
横梁	7.86	200.0	0.28	202.0	7
支架	7.86	200.0	0.28	202.0	7
后端板	7.83	200.0	0.30	164.1	—

由于碰撞发生在汽车尾部,对前部结构的影响可以忽略,故仅对建立的汽车后半部分模型进行分析,如图 2 所示。汽车前半部分质量可以通过给断面处的刚性单元附上集中质量弥补。

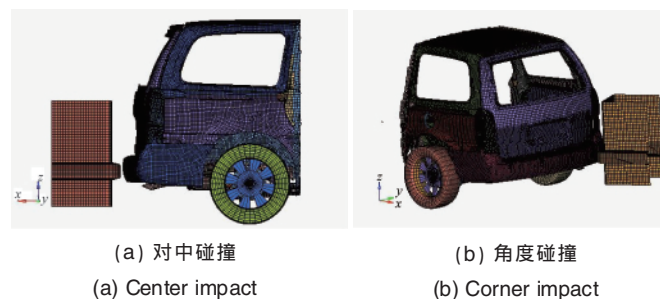


图 2 整车碰撞有限元模型

Fig. 2 FEA model for whole car

2 仿真结果与分析

利用 LS-DYNA 对低速对中和角度碰撞进行计算,各时刻仿真模型变形如图 3、图 4 所示。由图可知,主要是汽车尾部构件发生了变形。

图 5 为整体能量变化曲线图,总能量曲线几乎水平,可知碰撞前后能量守恒,沙漏能很小,整体沙漏控制较好。对中和碰撞总能量是 1186.5J,最大吸能为 715.6J,占总能量的 60.3%;角度碰撞总能量是 464.4J,最大吸能为 166.9J,占总能量的 35.9%,整体吸能效果较好。

选取吸能较大的 6 个部件进行分析,分别为泡沫、保险杠横梁、横梁支架、蒙皮、后端板和后纵梁,即构成保险杠系统的 5 个部件以及汽车后纵梁,吸能曲线如图 6 所示。其中,对中和角度碰撞中吸能最大的部件均为泡沫。由表 2 可知,这 6 个部件最大吸能总和分别占总能量的 53.6%和 21.7%,占总内能的 88.8%和 60.3%,可见,汽车的碰撞能量主要通过保险杠系统的组成部件和汽车后纵梁的变形吸收。

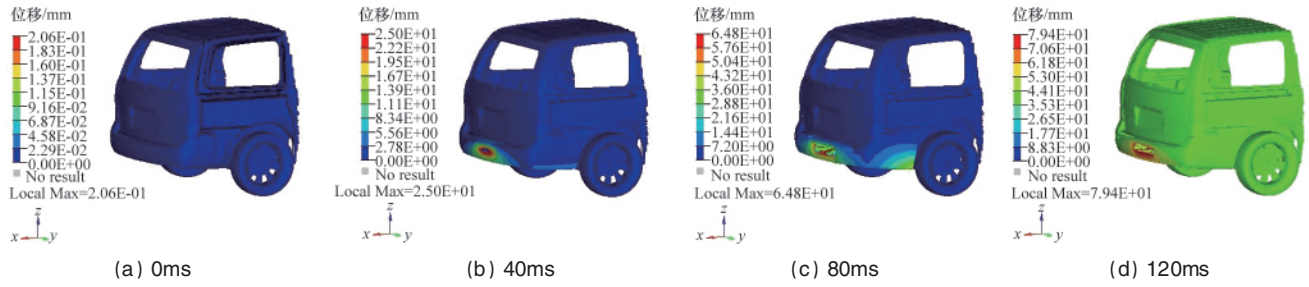


图 3 不同时刻汽车尾部模型变形图 (对中碰撞)

Fig. 3 Deformation of the vehicle rear body at different times (center impact)

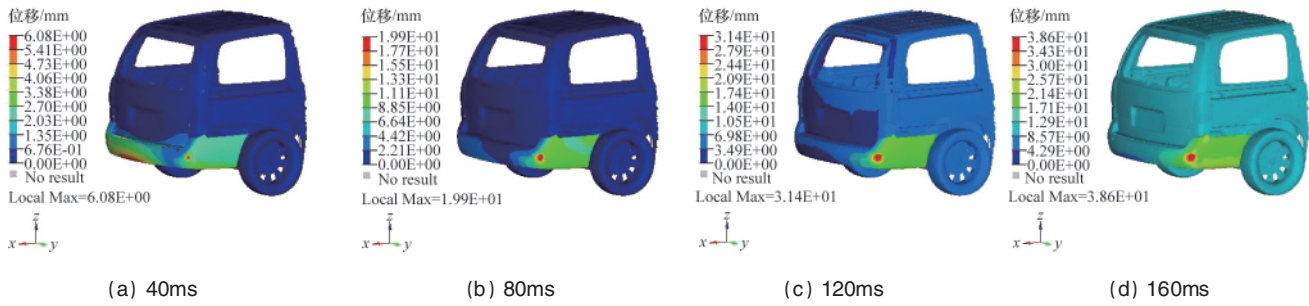


图 4 不同时刻汽车尾部模型变形图 (角度碰撞)

Fig. 4 Deformation of the vehicle rear body at different times (corner impact)

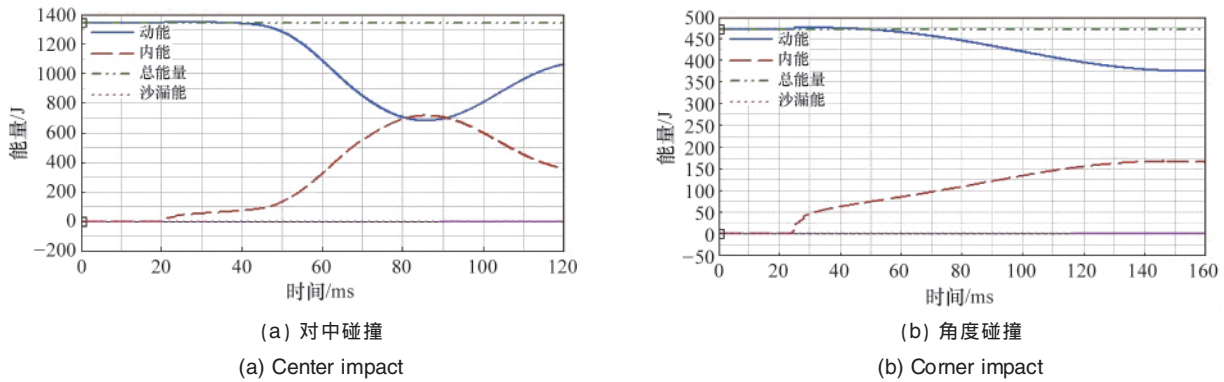


图 5 整体能量曲线图

Fig. 5 Curves of system energy

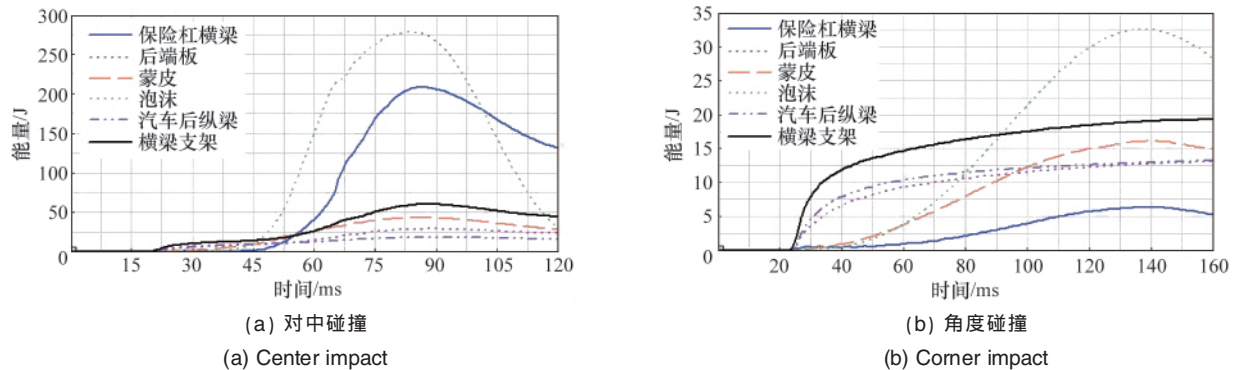


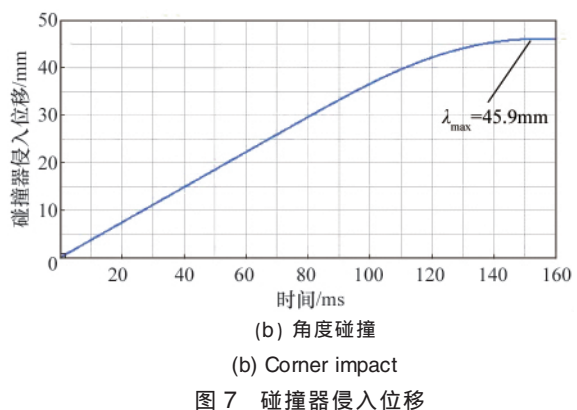
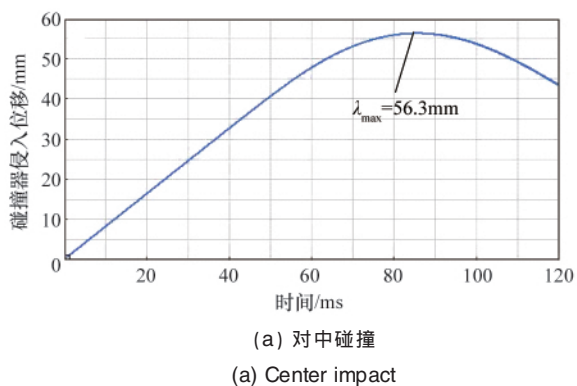
图 6 主要部件的吸能曲线图

Fig. 6 Energy-absorbing curves of the main components

表 2 主要部件最大吸能及所占比例
Table 2 Value of absorbed energy and the proportion of main parts

部件	对中碰撞		角度碰撞	
	最大吸能/kJ	占总能量比/%	最大吸能/kJ	占总能量比/%
泡沫	278.20	23.4	32.5	7.0
保险杠横梁	208.50	17.6	6.4	1.4
横梁支架	60.00	5.1	19.3	4.2
蒙皮	43.10	3.6	16.1	3.5
后端板	28.80	2.8	13.1	2.8
后纵梁支架	18.30	2.4	13.2	2.8
吸能总和	635.4	53.6	100.6	21.7

汽车的后保险杠蒙皮和车体尾部之间具有一定距离,如果碰撞器的最大侵入位移 λ_{max} 超过了该许可距离,将与车身发生接触,可能导致车体损坏。本模型中对中和角度碰撞的许可位移分别为 155、128mm。图 7 为碰撞器侵入位移曲线,碰撞器最大侵入位移分别为 56.3、45.9mm,均小于其许可距离。可知该汽车的后保险杠系统对车体起到了一定的保护作用。



汽车保险杠横梁在低速碰撞的过程中,起关键保护作用^[5]。保险杠横梁和支架的有效应变如图 8 所示。对中碰撞时最大

应变为 8.88%,大于材料定义的失效应变 7%;角度碰撞最大的应变为 1.29%,小于失效应变。由结果可知,对中碰撞时保险杠横梁发生了应变失效,未能满足法规的要求,需要进行改进。

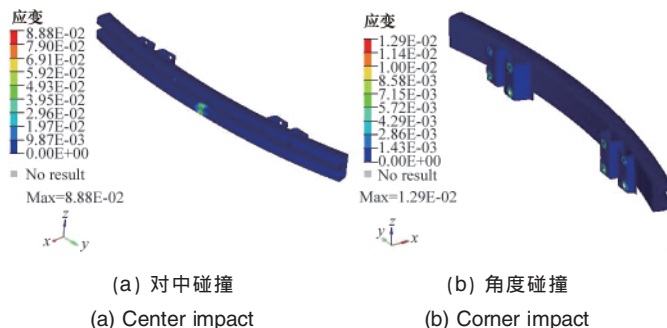


图 8 横梁的应变云图
Fig. 8 Contour plot of plastic strain of beam

车体上直接受到碰撞影响的部位是汽车的后纵梁,它与保险杠系统的后端板直接连接。汽车后纵梁的有效应变如图 9 所示。从图中可知,在与后端板连接的螺栓孔附近有极小的应变,其中最大应变约为 0.7%和 0.6%,说明该汽车后纵梁在低速碰撞中受到的影响很小。

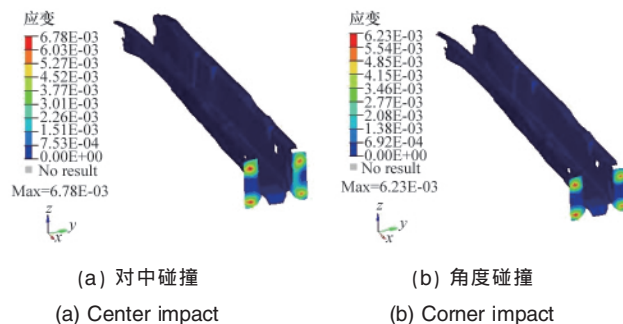


图 9 汽车后纵梁的应变云图
Fig. 9 Contour plot of plastic strain of rail

3 保险杠系统参数设计

通过以上对某汽车进行低速碰撞的分析,可知原保险杠横梁及支架在对中低速后碰时发生了应变失效,因此,需要在仿真基础上对其进行改进。同时,在保证汽车安全性能的前提下,应向轻量化目标改进。实现轻量化的措施主要是使用低密度的轻质材料(镁铝合金等)及高强度钢等^[6]。其中使用高强度钢板进行轻量化分析比低密度的轻质材料成本更低^[7],所以本文对主要选用高强度钢材料对保险杠系统进行改进。

国际钢铁协会将屈服强度在 210~550MPa 之间的钢材定义为高强度钢^[8],原有保险杠的横梁及支架所选材料的屈服极限为 202MPa,不是高强度钢。改进方案改用高强度钢 B340/590DP,其屈服极限为 370MPa,同时从轻量化方面考

虑,将横梁的厚度从原来的 1.4mm 减到 1.0mm,支架的厚度从 2mm 降至 1.6mm,改进后保险杠的总质量从 8.5kg 减至 4.6kg,减少了 45%。对改进后的模型进行计算,得到碰撞器侵入位移、保险杠横梁与后纵梁应变峰值,与改进前各指标对比如表 3 所示,其中变化幅度是指各指标改进前后的差

值与改进前值的比。可以看出,改进后对中碰撞条件下各值均有所减小,其中保险杠横梁的最大应变下降了 4.9%,其值小于材料定义的失效应变;角度碰撞下各值略有增加,但范围仍在法规要求的范围内。因此改进后的模型满足法规要求。

表 3 改进前后指标值对比

Table 3 Comparison of values before and after improvement

	对中碰撞			角度碰撞		
	碰撞器侵入 位移/mm	横梁应变 峰值/%	纵梁应变 峰值/%	碰撞器侵入 位移/mm	横梁应变 峰值/%	纵梁应变 峰值/%
改进前	56.3	8.9	0.68	45.9	1.2	0.62
改进后	54.2	4.0	0.56	56.9	1.9	0.65
变化幅度/%	0.04	55	17	23.9	58.3	0.05

综上所述,改进后的保险杠系统碰撞性能得到提高,同时保险杠系统质量下降,实现了轻量化目的。

4 结论

本文通过对某款汽车进行后端低速碰撞仿真分析,从吸能情况及对车体的保护角度评价了该汽车发生低速碰撞的碰撞性能,并对保险杠结构进行改进分析,得到以下结论。

(1) 该汽车原后保险杠系统吸能特性较好,在碰撞过程中,主要通过吸能泡沫以及后保险杠组成部件的塑性变形吸收冲击能量。

(2) 原保险杠系统在对中碰撞过程中,横梁发生了应变失效,需要改进。

(3) 对原有保险杠横梁及支架的材料改用高强度钢进行分析,结果表明改进后的保险杠系统不但提高了性能,而且实现了轻量化目标。

参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计年报 (2009 年度)[R]. 北京: 中华人民共和国公安部交通管理局, 2010.
Ministry of Public Security Transportation Administrative Bureau of the People's Republic of China. Statistical yearbook of road traffic accidents of the people's republic of China (2009)[R]. Beijing: Ministry of Public Security Transportation Administrative Bureau, 2010.
- [2] 韦珑坤, 杨荣松, 张勇. 汽车保险杠碰撞的有限元仿真与优化[J]. 现代制造技术与装备, 2008(3): 24-26.
Wei Longkun, Yang Rongsong, Zhang Yong. *Modern Manufacturing Technology and Equipment*, 2008(3): 24-26.
- [3] 李平飞, 巢凯年. 轿车保险杠系统低速正面碰撞性能的仿真研究[J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2005, 24(3): 26-28.
Li Pingfei, Chao Kainian. *Journal of Xihua University: Natural Science Edition*, 2005, 24(3): 26-28.

- [4] 中华人民共和国机械工业部. GB 17354—1998 汽车前、后端保护装置标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.

Mechanical Engineering Department of the People's Republic of China. GB 17354—1998 Front and rear protective devices for passenger cars[S]. Beijing: Standards Press of China, 1998.

- [5] 李晨, 陈昌明. 轿车保险杠横梁的碰撞安全性研究[J]. 上海汽车, 2007(6): 20-23.

Li Chen, Chen Changming. *Shanghai Auto*, 2007(6): 20-23.

- [6] 肖丽芳. 车身保险杠碰撞仿真分析及轻量化研究[D]. 上海: 同济大学, 2009.

Xiao Lifang. *Body bumper crash simulation analysis and lightweight research*[D]. Shanghai: Tongji University, 2009.

- [7] 曾必强, 马杰, 方锐, 等. 基于车辆安全性的车门轻量化研究 [J]. 科技导报, 2009, 27(19): 85-89.

Zeng Biqiang, Ma Jie, Fang Rui, et al. *Science & Technology Review*, 2009, 27(19): 85-89.

- [8] 王利, 杨雄飞, 陆匠心. 汽车轻量化用高强度钢板的发展 [J]. 钢铁, 2006, 41(9): 1-8.

Wang Li, Yang Xiongfei, Lu Jiangxin. *Iron & Steel*, 2006, 41(9): 1-8.

(责任编辑 刘志远)

《科技导报》“科技工作大家谈”栏目征稿

“科技工作大家谈”栏目专门刊登科技工作者近期提出的、与科学技术相关的工作意见、建议和看法。该栏目内容着眼于科技研究、发展、应用、政策等领域的实际问题,要求有明确、具体的内容,方法上尽量具有可操作性。文字应简洁明了,全文不超过 2200 字。欢迎国内外科技工作者及各级科协、学会投稿。栏目责任编辑:王芷, 电子信箱:wangzhi@cast.org.cn; 在线投稿:www.kjdb.org。