


# 汽车EVI及 高强度钢氢致延迟断裂 研究进展

AUTOMOTIVE EVI & HYDROGEN  
EMBRITTLMENT OF HIGH STRENGTH STEELS

中信微合金化技术中心 | 编  
中国汽车工程研究院股份有限公司



 北京理工大学出版社  
BEIHANG INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 汽车 EVI 及高强度钢氢 致延迟断裂研究进展

**Automotive EVI & Hydrogen Embrittlement of  
High Strength Steels**

中信微合金化技术中心 编  
中国汽车工程研究院股份有限公司

版权专有 侵权必究

---

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车 EVI 及高强度钢氢致延迟断裂研究进展/中信微合金化技术中心, 中国汽车工程研究院股份有限公司编. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 11

ISBN 978 - 7 - 5682 - 7705 - 1

I. ①汽… II. ①中… ②中… III. ①汽车 - 高强度钢 - 氢脆 - 韧性断裂 - 文集 IV. ①U465. 1 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 226613 号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 21

字 数 / 365 千字

版 次 / 2019 年 11 月第 1 版 2019 年 11 月第 1 次印刷

定 价 / 168.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

# 《汽车 EVI 及高强度钢氢致 延迟断裂研究进展》

## 编 委 会

顾 问：翁宇庆 毛新平 付俊岩

Marcos Stuart

编委会主任：马鸣图 郭爱民

副 主 任：Julie Cairney 蒋浩民 张文洋

主 编：路洪洲 周 佳

副 主 编：陈翊昇 韩 非 詹 华 赵 岩

编 委（按姓氏字母排名）：

Amado Rodrigo 陈二军 陈 宇

陈翊昇 方 刚 Felipe Barbosa

郭爱民 韩 非 胡 军 Jian Bian

蒋浩民 蒋松蔚 Jose Bacalhau

Julie Cairne 缪心雷 林 利

刘春海 刘宏亮 刘仁东 路洪洲

陆匠心 陆丽莉 罗兴宏 吕 超

马鸣图 马芳武 Marcelo Scuccuglia

闵峻英 曲新军 Rafael Mesquit

师彦春 孙中渠 王 勇 王建锋

王毛球 王文军 阎换丽 王智文

张文洋 张永青 赵清江 赵 岩

詹 华 周 佳 朱伦才

审 稿 (按姓氏字母排名):

范体强 韩志勇 金学军 李金许

李永兵 林建平 刘献栋 龙木军

王登峰 王 辉 王 利 王亚东

黄明欣 熊 飞 杨上陆 易红亮

张宜生 赵征志

# 第二届汽车 EVI 及高强度 钢氢脆会议 组 委 会

大会顾问：翁宇庆 毛新平 付俊岩 Julie Cairney  
Marcos Stuart

名誉主席：翁宇庆

大会主席：郭爱民 马鸣图

学术委员会（按姓氏字母排名）：

Jian Bian Yisheng Chen 陈云霞

陈 宇 崔 阳 代云红 董 瀚

韩 非 韩志勇 Hardy Mohrbacher

胡 军 黄 健 黄明欣 惠卫军

蒋浩民 江社明 金建伟 金学军

康 明 李金许 李瑞生 李书瑞

李彦波 李永兵 李志伟 缪新雷

林建平 刘 波 刘春海 刘仁东

刘献栋 刘永刚 刘正东 陆 博

陆丽莉 陆匠心 路洪洲 鲁后国

罗兴宏 马芳武 任 鹏 单智伟

宿彦京 孙卫华 唐玉刚 王登峰

王 辉 王建锋 王 利 王毛球

王昭东 王文军 王 勇 王云阁

王智文 Fugao Wei 韦 旋 熊 飞  
杨上陆 易红亮 詹 华 赵 岩  
赵征志 张 建 张宜生 张永青  
张 跃 周 佳 周茂奇 朱国森  
朱伦才

# 第二届汽车 EVI 及高强度 钢氢脆会议 组织机构

## 主办单位：

中信微合金化技术中心

中国汽车工程研究院股份有限公司

## 联合主办：

悉尼大学

汽车用钢开发与应用技术国家重点实验室（宝钢）

马鞍山钢铁股份有限公司

## 协办单位：

中国科学院金属研究所

钢铁研究总院

鞍钢蒂森克虏伯汽车钢有限公司

宝山钢铁股份有限公司中央研究院

中信戴卡股份有限公司

## 支持单位：

中国汽车工程学会材料分会

中国机械工程学会材料分会

中国金属学会特钢分会  
中国金属学会材料分会  
通用汽车中国科学研究院  
北汽汽车研究总院有限公司

# 前 言

---

汽车轻量化和安全性等的提升，使高强度钢和超高强度钢及先进成形技术的应用迅速增长，也要求原材料企业及零部件企业能够具有 EVI 能力并为主机厂提供解决方案。EVI，即 Early Vendor Involvement，是指上游材料和零部件供应商对下游客户的新产品开发先期介入模式，上游材料和零部件供应商充分了解下游客户对上游产品性能的要求，从而为下游客户新产品开发提供更优的产品和个性化服务。同时，随着高强度钢的大量应用，与高强度钢应用相关的氢致断裂问题时有发生，给汽车、桥梁、轨道等其他下游行业带来安全隐患。正是在这种形式下，2017 年 12 月，“第一届中国汽车 EVI 及高强度钢氢致延迟断裂会议”在中信微合金化技术中心和中国汽车工程研究院联合组织下于中国北京召开。为进一步推动汽车行业 EVI 模式的发展和氢致延迟断裂相关应用、评价技术进步，中信微合金化技术中心和中国汽车工程研究院于 2019 年 8 月 29—30 日在中国重庆联合组织了“第二届汽车 EVI 及高强度钢氢脆会议”，并邀请业内专家撰写研究报告以出版成集，旨在增进上下游企业的技术沟通和相互了解，推动汽车整车企业、零部件企业、钢厂、高等院校、科研院所之间的紧密合作，以期上下游一起推进我国汽车产品结构调整、品质提升和竞争力提高，缩短新产品的开发周期，深入认识高强度钢氢致延迟断裂的本质，进一步明确其在汽车中应用时的影响。本次会议的召开及本书的出版得到了翁宇庆院士、毛新平院士、Julie Cairney 教授、Andrej Atrens 教授及业内专家学者的大力支持，同时得到了中国汽车工程学会材料分会、中国机械工程学会材料分会、通用汽车中国科学研究院、北汽集团新技术研究院等单位的大力支持，特代表主合办单位表示感谢！

本书既是本次大会的优秀论文结集，也是近年业内汽车 EVI 技术及氢脆

延迟断裂技术最新进展的研究性著作。由于出版周期及论文审稿等时间所限，经学术委员会专家评审，仅将会议前期征集的部分优秀论文进行结集出版，共计 31 篇，主要涉及 EVI 模式合作、EVI 解决方案、氢致延迟断裂等内容。本书的 31 篇深度研究报告的征集得到汽车行业及钢铁行业上下游单位及广大科技人员的广泛响应和积极支持，包括主机厂、钢铁企业、零部件企业、科研院所的稿件，在此表示诚挚的感谢。

由于编辑、出版时间较紧，书中疏漏之处难免，恳请读者批评指正。

中信微合金化技术中心  
中国汽车工程研究院股份有限公司  
2019 年 10 月

# 目 录

---

## EVI 技术篇

融入汽车开发流程的 EVI 开发及展望 .....	3
汽车车身正向选材的逻辑与实践 .....	19
韩国浦项制铁的电动汽车轻量化解决方案 .....	34
基于多目标优化设计的轻量化方案 .....	42
800 MPa 级 Nb 微合金化热镀锌双相钢退火工艺的研究 .....	53
过时效温度对 1 000 MPa 级冷轧双相钢组织及力学性能的影响研究 .....	58
某车型座椅满足 C - IASI 与 C - NCAP 鞭打性能优化 .....	66
IF 钢中 C、N 元素对组织性能的影响 .....	79
700 MPa 级低合金高强度钢焊接热影响区连续转变曲线 .....	86
含铌高强度钢仓栅式半挂车的轻量化设计 .....	94
汽车车身用钢的均匀延伸率与局部延伸率 .....	104
不同冷却工艺对 600 MPa 级热镀锌双相钢性能及表面质量影响 .....	116
基于某燃油汽车的轻量化设计研究与应用 .....	124
热镀锌双相钢表面色差问题的分析 .....	132
不同材料在乘用车正面碰撞仿真中的对比分析 .....	139
热成形钢电阻点焊工艺及焊接性能研究 .....	150
基于碰撞安全的双相钢 DP780 动态力学本构表征研究 .....	162
基于 CAE 分析的 B 柱热冲压成形工艺的研究 .....	173
DIC (Digital Image Correlation) 在材料变形行为中的应用研究 .....	183
第三代先进高强度钢 QP 钢研发进展 .....	193
汽车轻量化发展战略重点——新材料的应用 .....	199

汽车用高强度钢疲劳寿命预测研究 .....	212
汽车轻量化新材料及相关工艺研究进展 .....	221
基于 PAM - STAMP 的汽车翼子板成形数值模拟及工艺优化 .....	230

### 氢致延迟断裂技术篇

NbV 微合金化对 1 500 MPa 级热成形钢抗延迟断裂性能的影响研究 .....	241
夹杂物对热成形钢氢致延迟开裂行为影响 .....	254
Nb 微合金化技术在 2 000 MPa 级热成形钢中的作用 .....	269
微合金化对热成形钢抗氢致延迟断裂性能提升的作用机理研究 .....	278
宝钢 1 500 MPa 热冲压钢延迟开裂性能评价 .....	297
基于拉深工艺的 QP1180 钢延迟断裂机理研究 .....	306
热冲压成形钢延迟开裂分析 .....	318



# EVI技术篇





# 融入汽车开发流程的 EVI 开发及展望

范体强\*, 万鑫铭, 马鸣图, 冯毅, 周佳, 王彬花

(中国汽车工程研究院股份有限公司 重庆 401122)

**【摘要】** 本文介绍了汽车行业的汽车用钢需求, 主机厂需要钢铁企业全面融入整车开发过程, 在不同的开发阶段, 提供相应的 EVI 服务。介绍了 EVI 服务的三种层次, 详细说明了 PBC - EV 的开发, 这是一种全新的 EVI 技术路线。在未来 EVI 的发展上, 钢铁企业需要在整车开发技术体系和规范、数据库平台、汽车零部件总成级解决方案等方面展开工作。

**【关键词】** 汽车用钢; EVI; 整车开发

## EVI Development and Outlook Integrated into The Vehicle Development Process

Fan Tiqiang, Wan Xinming, Ma Mingtu,  
Fen Yi, Zhou Jia, Wang Binhua

(China Automotive Engineering Research Institute  
Co., Ltd., Chongqing, China, 401122)

**Abstract:** The paper introduces the demand for automotive steel in the automotive industry. The OEMs need the steel companies to fully integrate into the vehicle development process and provide corresponding EVI services at different stages of development. The paper introduces three levels of EVI services, details the development process of PBC - EV, which is a new EVI technology route. In the future development of EVI, steel companies need to work on vehicle development technology systems and specifications, database platforms, and auto parts assembly-level solutions.

**Keywords:** Automotive steel; EVI; Vehicle development

---

\* 范体强, 男, 1981 年 5 月生, 硕士, 中国汽车工程研究院股份有限公司汽车轻量化中心高级工程师, 重庆交通大学、湖南大学指导实践类兼职硕士生导师。主要从事汽车轻量化零部件测试评价、汽车安全轻量化性能开发、钢铁企业 EVI 和轻量化产品开发; 已完成多项国家“十二五”科技支撑计划、国家重点研发计划等省部级科研课题, 完成整车和零部件安全、轻量化相关开发 11 项; 授权发明专利 3 项、实用新型 5 项, 发表论文 13 篇。

## 1 引言

近十年来，中国汽车行业快速发展，与之相关的上下游行业也得到了较大的发展，“EVI”这个关键词也走入人们的视野，并逐步被接受。EVI (Early Vendor Involvement, 早期供应商参与)，是指上游材料和零部件供应商对下游客户的新产品开发先期介入模式，其核心要求是上游供应商能充分了解下游客户对上游产品性能的要求，从而为下游客户新产品开发提供更优的产品和个性化服务。若由不同的企业在不同的行业里进行演绎，将会形成具有相近核心思想但却有不同核心内涵的各种 EVI 活动。在钢铁行业，EVI 首先被日本钢铁工程控股公司 (JFE) 和韩国浦项钢铁公司 (POSCO) 等钢铁企业提出并付诸实施<sup>[1]</sup>，取得了良好的成效。国内的宝钢、马钢和中信金属先后组织了专业的团队<sup>[2,3]</sup>，针对主机厂开展了 EVI 技术支持服务，一方面推动了新材料和新工艺在汽车上的应用，另一方面也推动了国内汽车轻量化水平的提高。

钢铁企业 EVI 的实质是钢厂在汽车开发的过程中发挥紧密合作伙伴关系，实现材料专家与汽车专家的技术对接。在设计方面，发挥钢厂在原材料上的技术优势，提供选材支持和零部件同步开发，支持主机厂安全、可靠的轻量化产品开发，提升汽车产品的竞争力；在采购方面，钢厂进行成本优化和配送服务，供给低成本、高品质的原材料；在制造过程中，协同主机厂进行模具设计开发，确保产品质量，确保制造的产品精度好、无开裂和起皱缺陷，获得模具与钢材的最佳匹配。

为了应对汽车企业的轻量化需求，钢铁企业汽车板应用和推进 EVI 技术的重要性日益凸显。通过 EVI 项目，钢铁企业可与汽车企业建立密不可分的合作伙伴关系，从低层次同质化竞争走向差异化竞争，使钢铁企业在汽车板产品营销中占领市场的制高点。

目前，EVI 已经发展成为在新车开发过程中，汽车材料供应商提供从设计到量产全过程的技术支持，形成一整套的集成解决方案，最终目标是实现材料供应商和用户新产品开发的双赢模式。

## 2 汽车行业需求

多年来，我国汽车工业保持高速增长，在 2018 年，中国汽车销售共计 2 808.1 万辆，中国品牌销量连续两年超过千万辆<sup>[4]</sup>。钢铁材料是汽车生产的主要原料之一，其占比为 55%~60%，面对逐年增长的汽车用钢需求，钢铁