

“十二五”国家重点出版物出版规划项目



中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 推荐出版

新能源汽车关键技术研究丛书

# 汽车结构轻量化设计与分析方法

DESIGN AND ANALYSIS APPROACHES TO  
AUTOMOTIVE STRUCTURAL LIGHTWEIGHT

陈吉清 兰凤崇 著

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

“十二五”国家重点出版物出版规划项目



中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 推荐出版

新能源汽车关键技术研究丛书

# 汽车结构轻量化设计与分析方法

DESIGN AND ANALYSIS APPROACHES TO  
AUTOMOTIVE STRUCTURAL LIGHTWEIGHT

陈吉清 兰凤崇 著

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书主要介绍汽车结构轻量化设计与分析方法,分三个部分共8章。第一部分(第1、2章)阐述基本原理和提出问题,介绍国内外汽车结构轻量化发展背景、设计理论、设计方法、技术发展水平及轻量化评价方法。第二部分(第3~7章)介绍从汽车概念设计阶段到详细设计阶段的轻量化设计开发流程、设计方法及工程应用。针对汽车刚、强度, NVH, 碰撞安全性与零部件可靠性等开发中的轻量化问题展开讨论,介绍了基于性能的轻量化思路与解决案例。第三部分(第8章)对电动汽车动力系统(重点对电池及电池包)的轻量化设计问题进行了阐述。

本书可作为从事汽车结构开发、零部件开发领域的工程技术人员工作学习读本,也可作为高等院校及大中专院校车辆工程专业的教学参考书与培训辅导资料。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车结构轻量化设计与分析方法 / 陈吉清, 兰凤崇著. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 4

(新能源汽车关键技术研究丛书)

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-5682-3940-0

I. ①汽… II. ①陈… ②兰… III. ①汽车-车体结构-结构设计  
IV. ①U463. 82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 079977 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 / 保定市中画美凯印刷有限公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 27.75

彩 插 / 16

字 数 / 500 千字

版 次 / 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷

定 价 / 88.00 元

责任编辑 / 张海丽

文案编辑 / 杜春英

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

# 前言

汽车轻量化技术是现代汽车产业发展的重要方向之一，是全世界汽车厂商的共同选择，是我国应对能源安全、新能源汽车发展的必然选择和汽车工业可持续发展的必经之路，对于提升汽车产品的核心竞争力，提高汽车企业的创新能力有重要意义。然而，汽车轻量化理论和技术的实施涉及汽车安全、品质、材料、工艺、回收再利用等多学科多目标协同优化问题，特别是对于新能源汽车的特殊结构又有特殊问题，需掌握结构轻量化的基本原理并遵循科学的设计方法和开发流程，并且把轻量化开发的理念贯穿到产品开发的全过程。

本书从轻量化技术基本理论和方法入手，结合新能源汽车的特点，重点阐述轻量化设计对车身结构特性、碰撞安全性、整车 NVH 特性以及零部件的可靠性等诸多方面带来的影响和相应的解决方案。本书主要有以下几个特点：理论性与实践性相结合，在介绍各类轻量化基本理论方法的同时，针对不同问题展示了大量的工程实例，用实际案例阐述方法的应用流程；一般性与特殊性相结合，在介绍轻量化一般方法的基础上，注重一般方法体系在具体轻量化问题中的应用，如结构优化技术应用于考虑 NVH 性能的车身轻量化设计，轻质吸能材料应用于考虑碰撞安全性的轻量化设计以及电池电驱的轻量化技术等；教学性与研究性相结合，在讲解传统主流轻量化技术的同时，也注重当前热点前沿问题的介绍以及相关研究方法和手段的阐述，引导读者进行更多有意义的探索；知识性与逻辑性相结合，不仅提供了关于新能源汽车及其轻量化技术的知识本身，更深入阐明了本领域所涉及的各学科知识之间的内在联系，引领读者建立更丰富的知识结构体系，灵活运用不同层次、不同类别的知识分析和解决问题。

书中主要研究成果、观点和实例来源于华南理工大学车身结构与安全团队的科研积累。其中的主要章节曾是作者讲授研究生专业课程的教材。此外，还参考了同行学者和工程技术人员的研究工作。借此机会，向所引用的所有资料的作者一并表示感谢。

本书内容新颖、逻辑性强、深度适中，既是一本有理论意义的学术著作，又是一本有工程实用意义的专业读物，适用于汽车行业相关领域科研人员学习参考，亦可作为高等院校车辆工程专业研究生的参考教材。

由于作者水平有限，书中的缺点和错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

陈吉清 兰凤崇

2016年12月

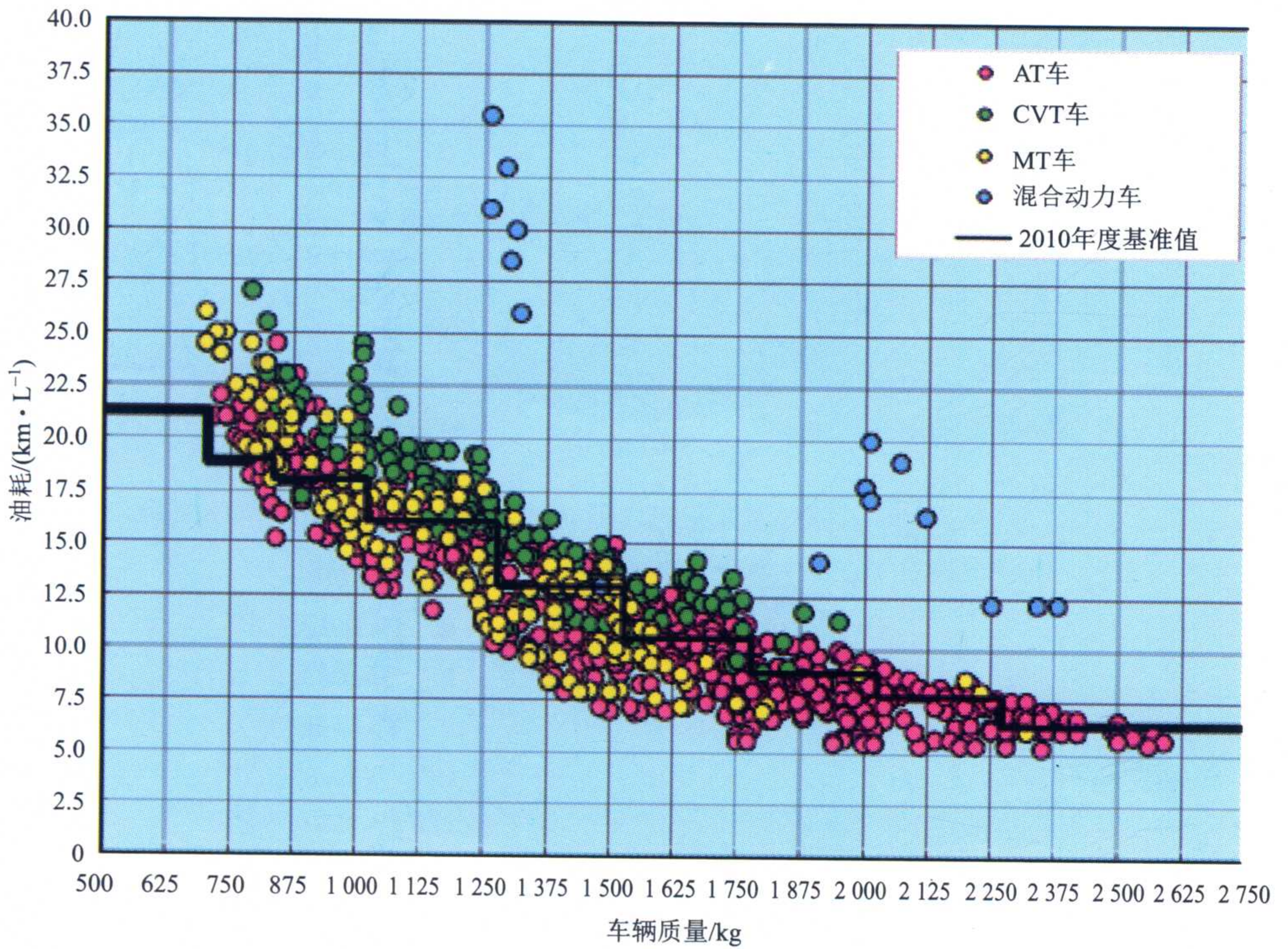


图 1.3 日本乘用车自重与油耗之间的关系

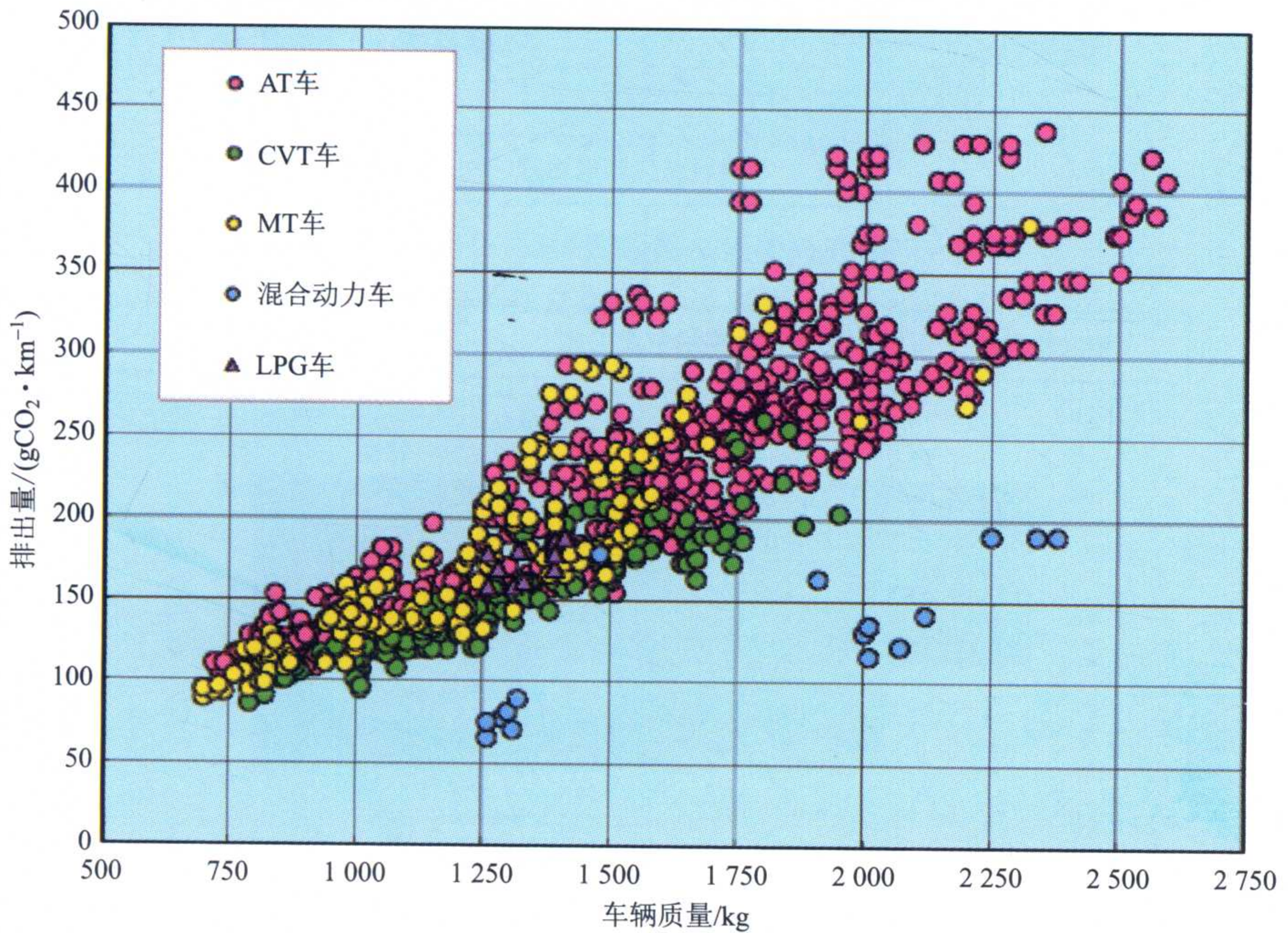


图 1.4 车辆自重对排放的影响

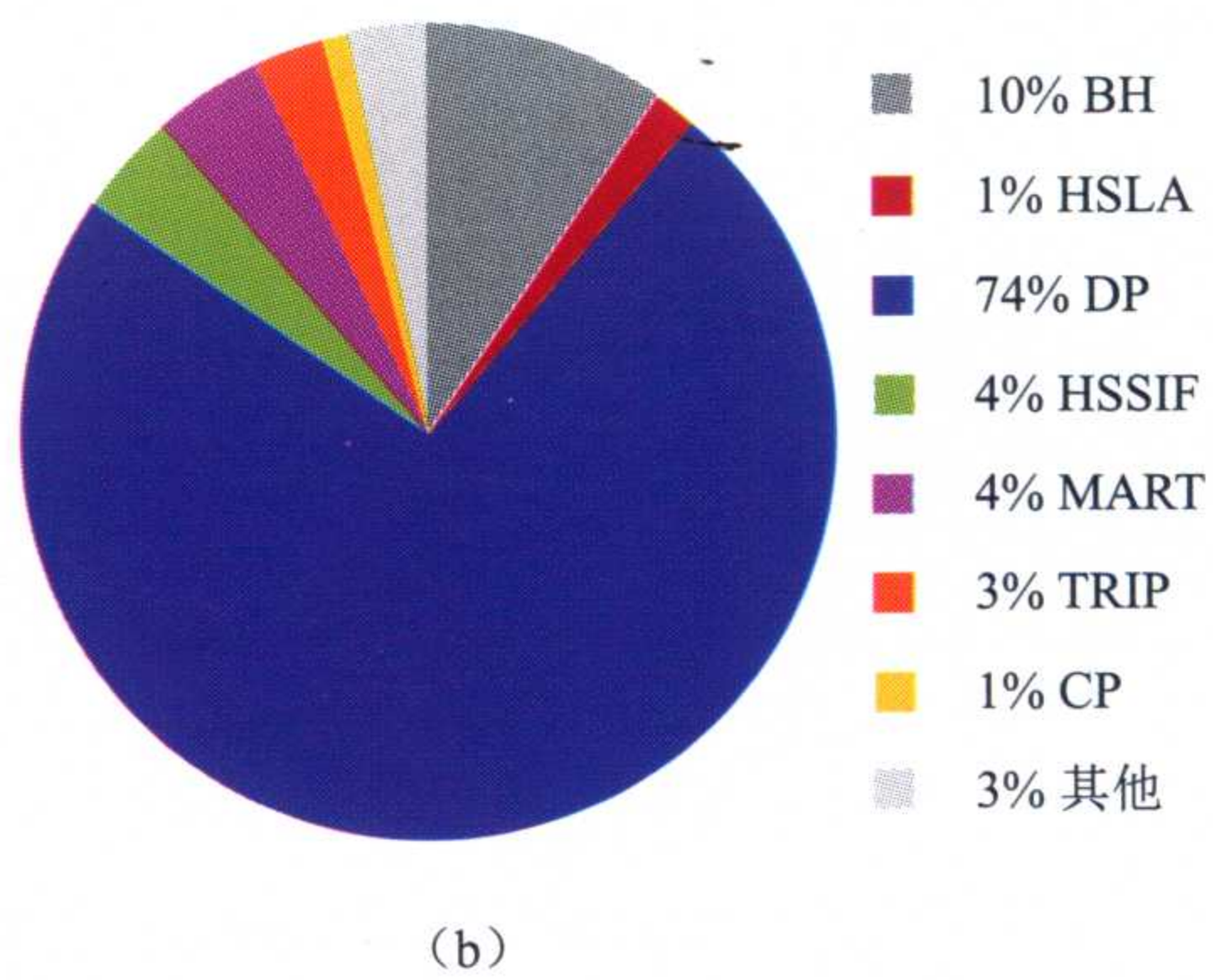
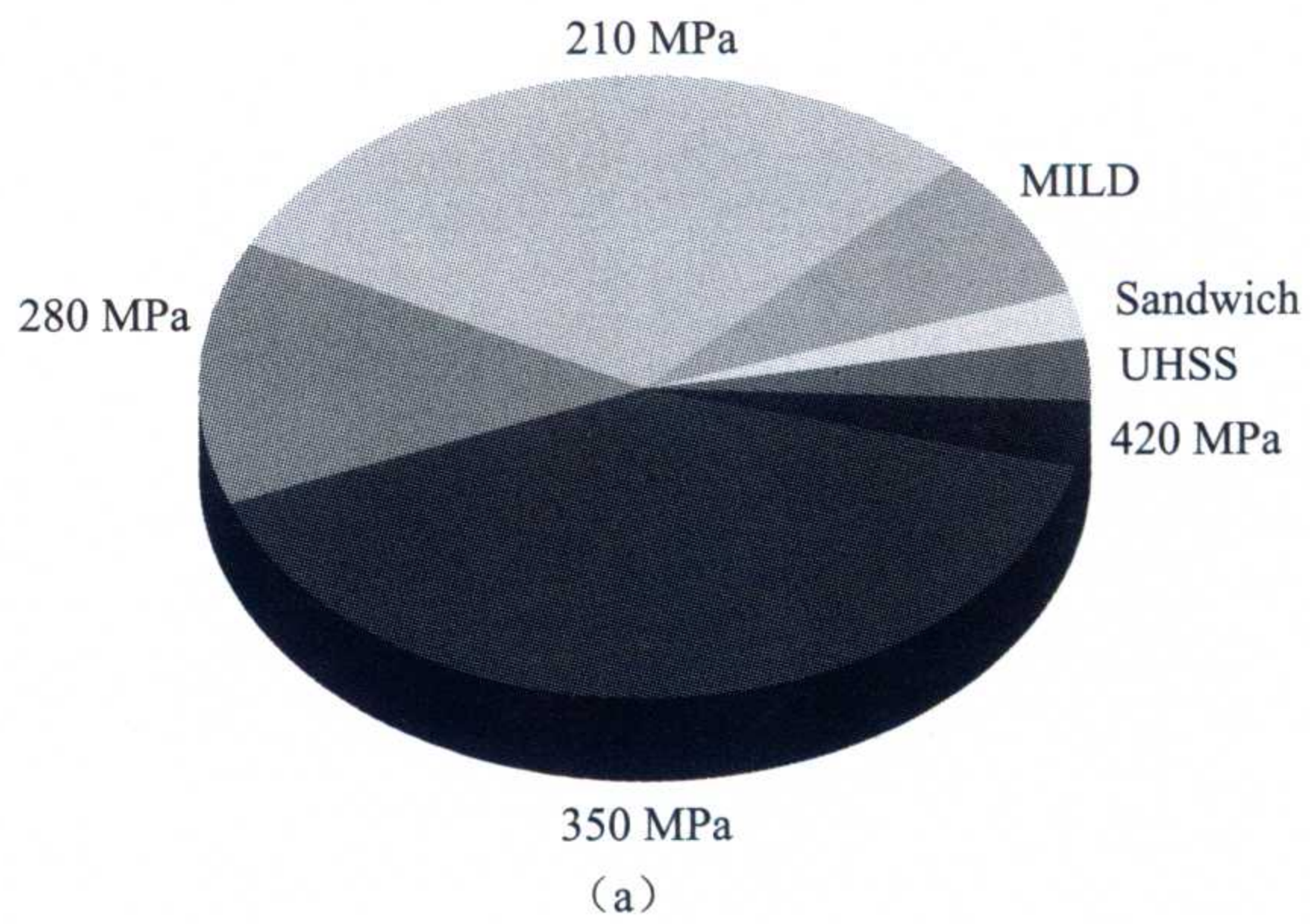


图 1.6 ULSAB 和 ULSAB-AVC 车身材料构成  
(a) ULSAB; (b) ULSAB-AVC

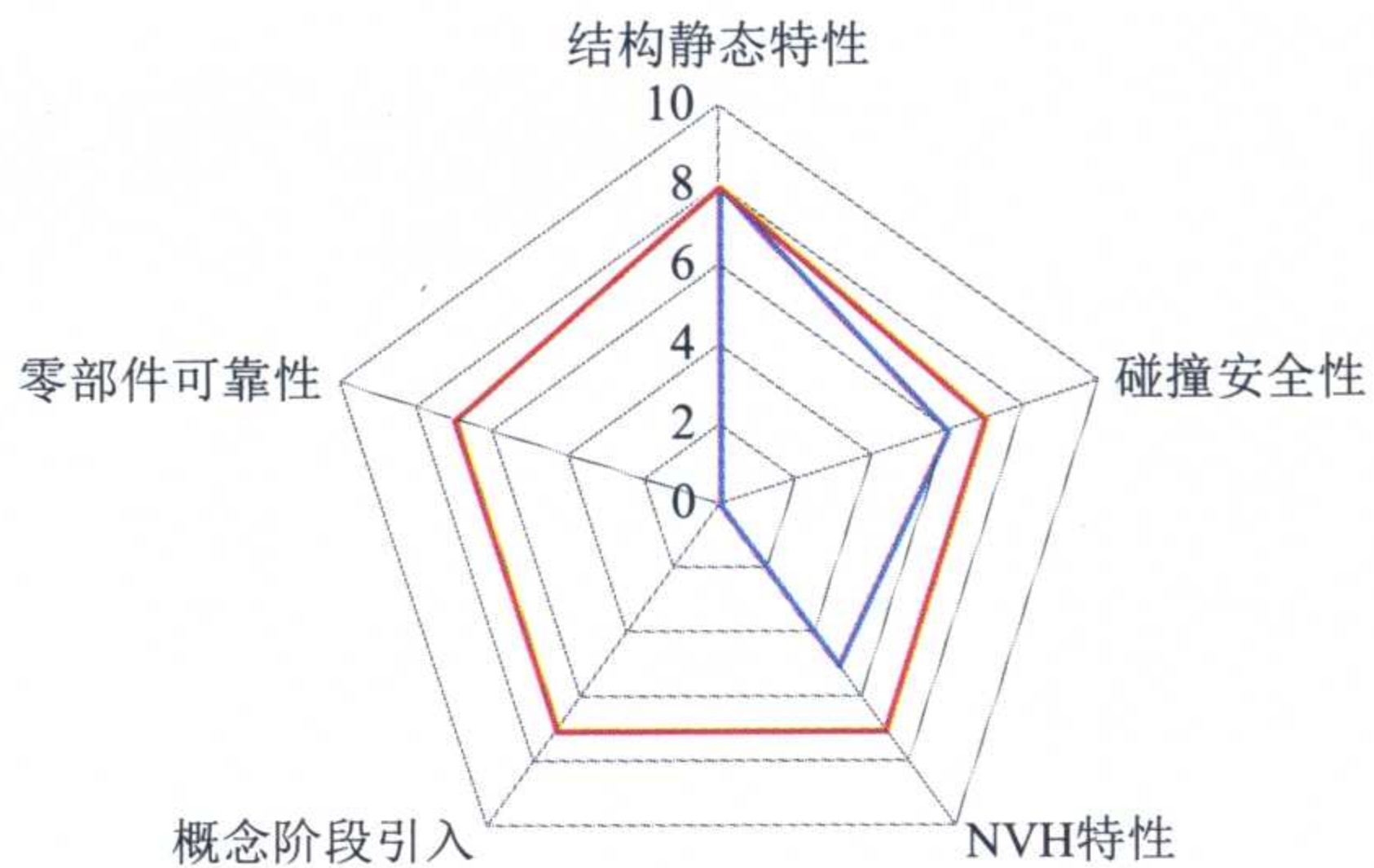


图 1.10 车身轻量化途径及技术体系

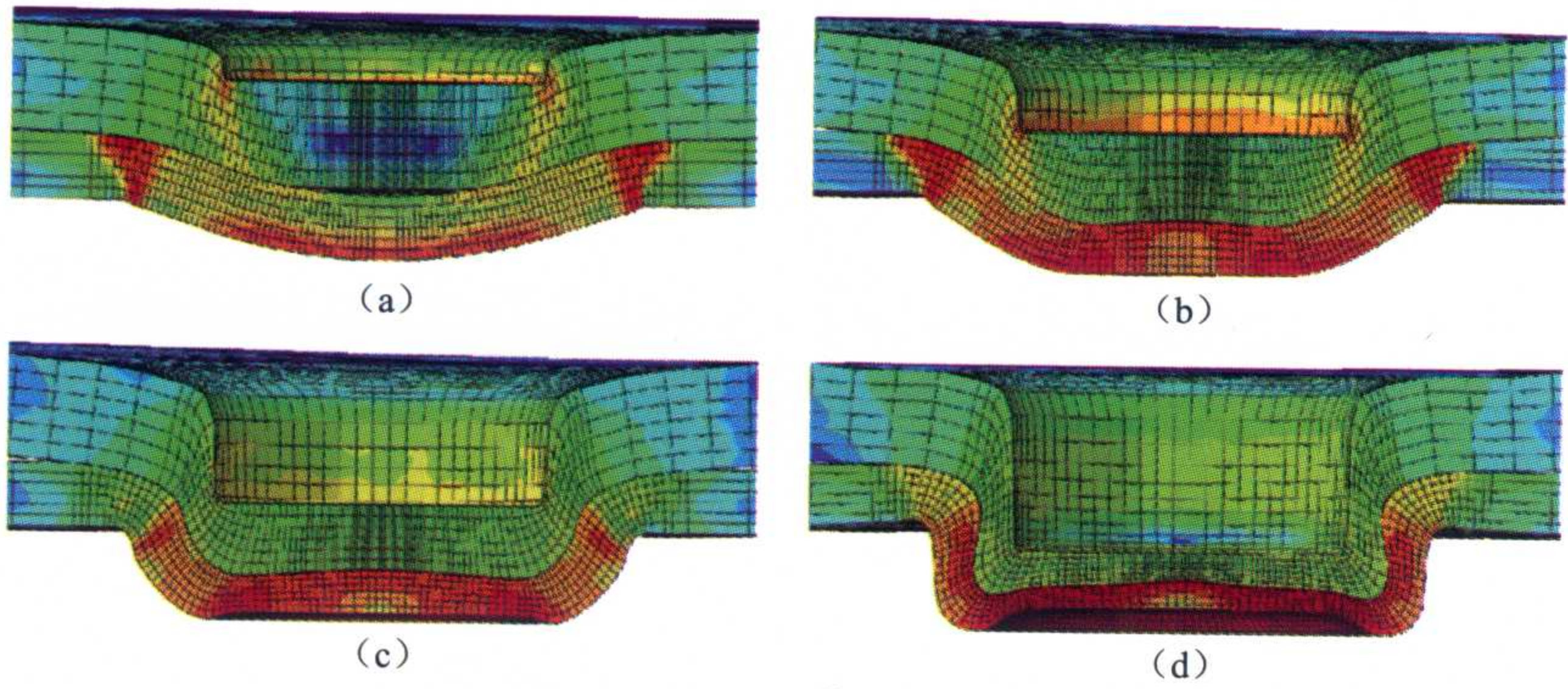


图 2.33 压力连接成形过程

(a) 0.16 ms; (b) 0.32 ms; (c) 0.48 ms; (d) 0.64 ms

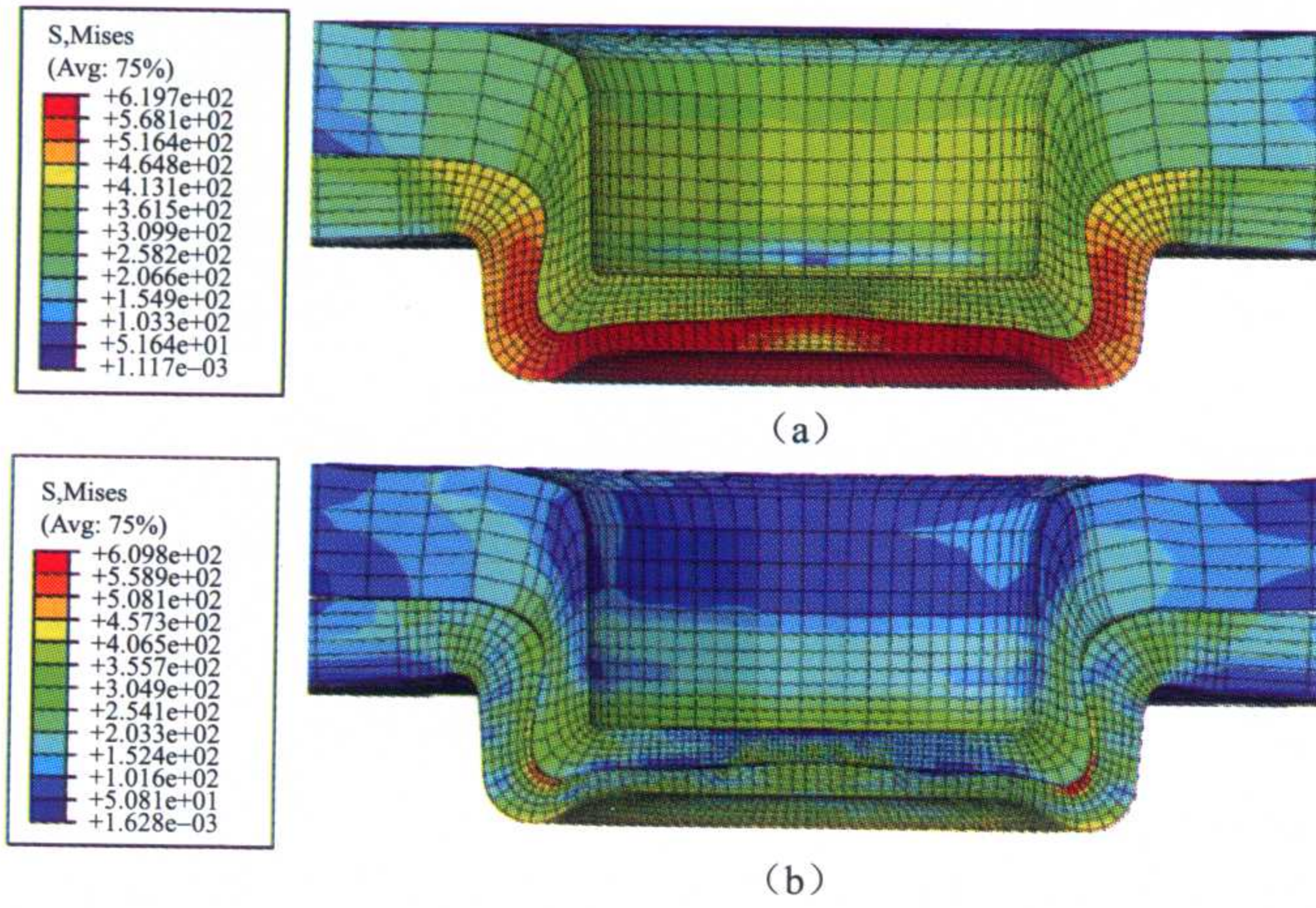


图 2.34 回弹前后接头应力分布情况

(a) 回弹前接头应力分布; (b) 回弹后接头应力分布

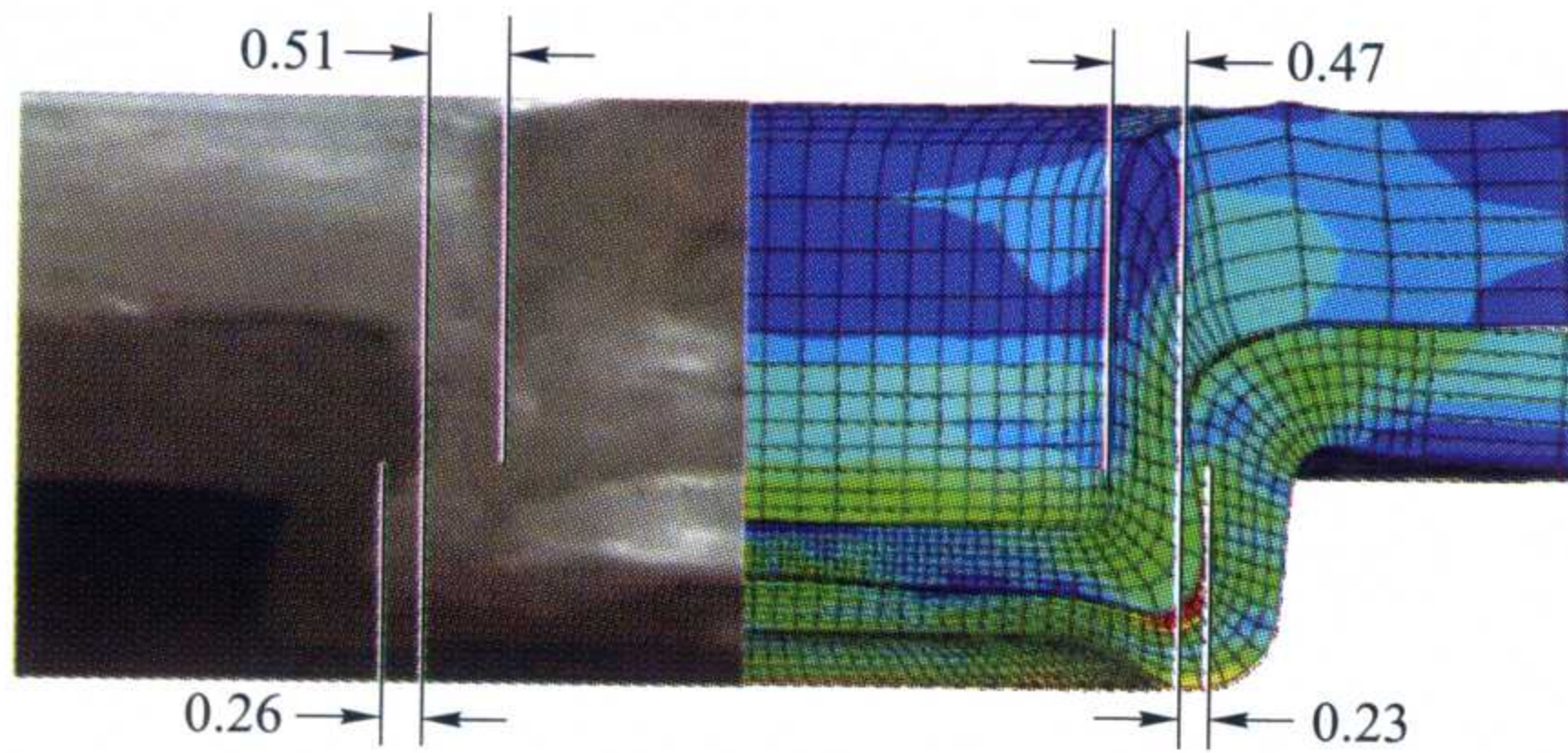


图 2.37 接头参数实验与仿真对比



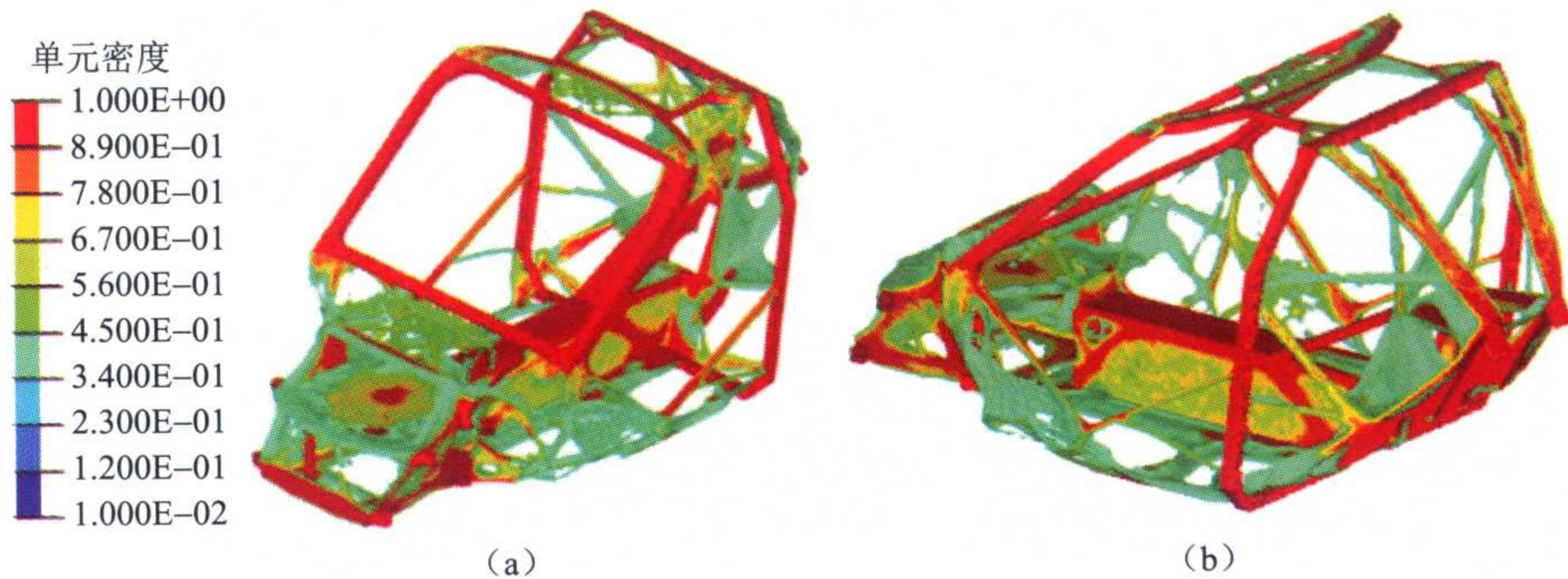


图 3.9 某电动车车架基于折中规划法多工况下的拓扑优化结果

(a) 前部; (b) 后部

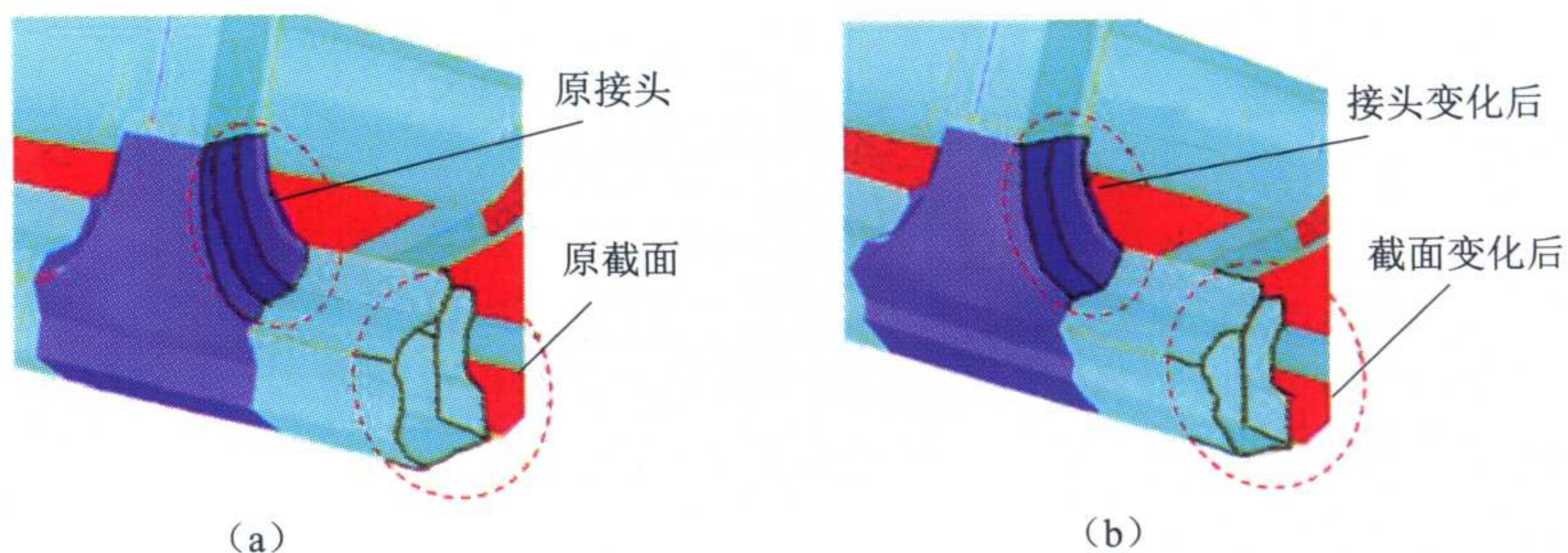


图 3.36 截面变化引起接头变化

(a) 原始结构; (b) 变化后结构

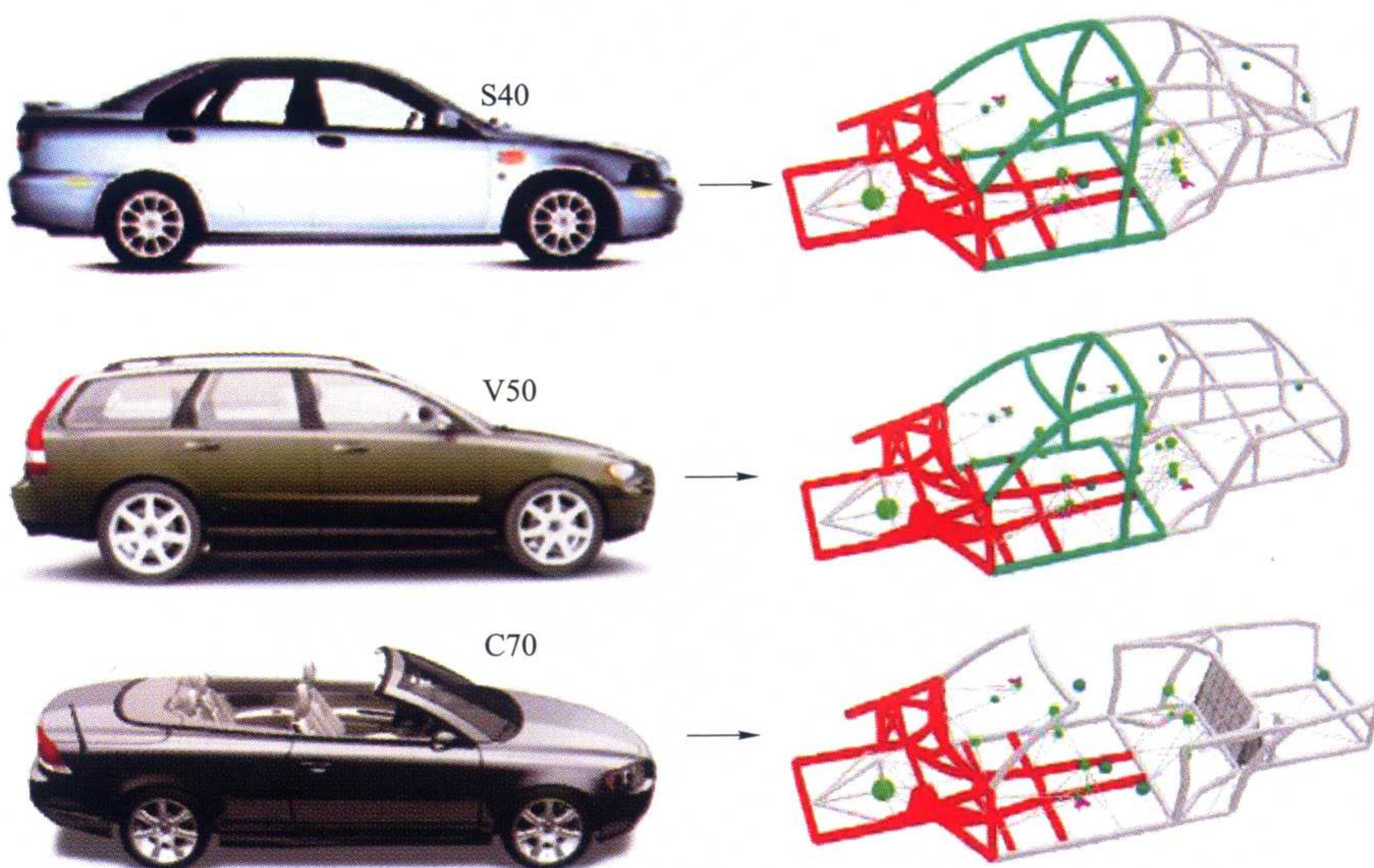


图 3.42 沃尔沃 S40、V50 和 C70 及对应的简化车身模型

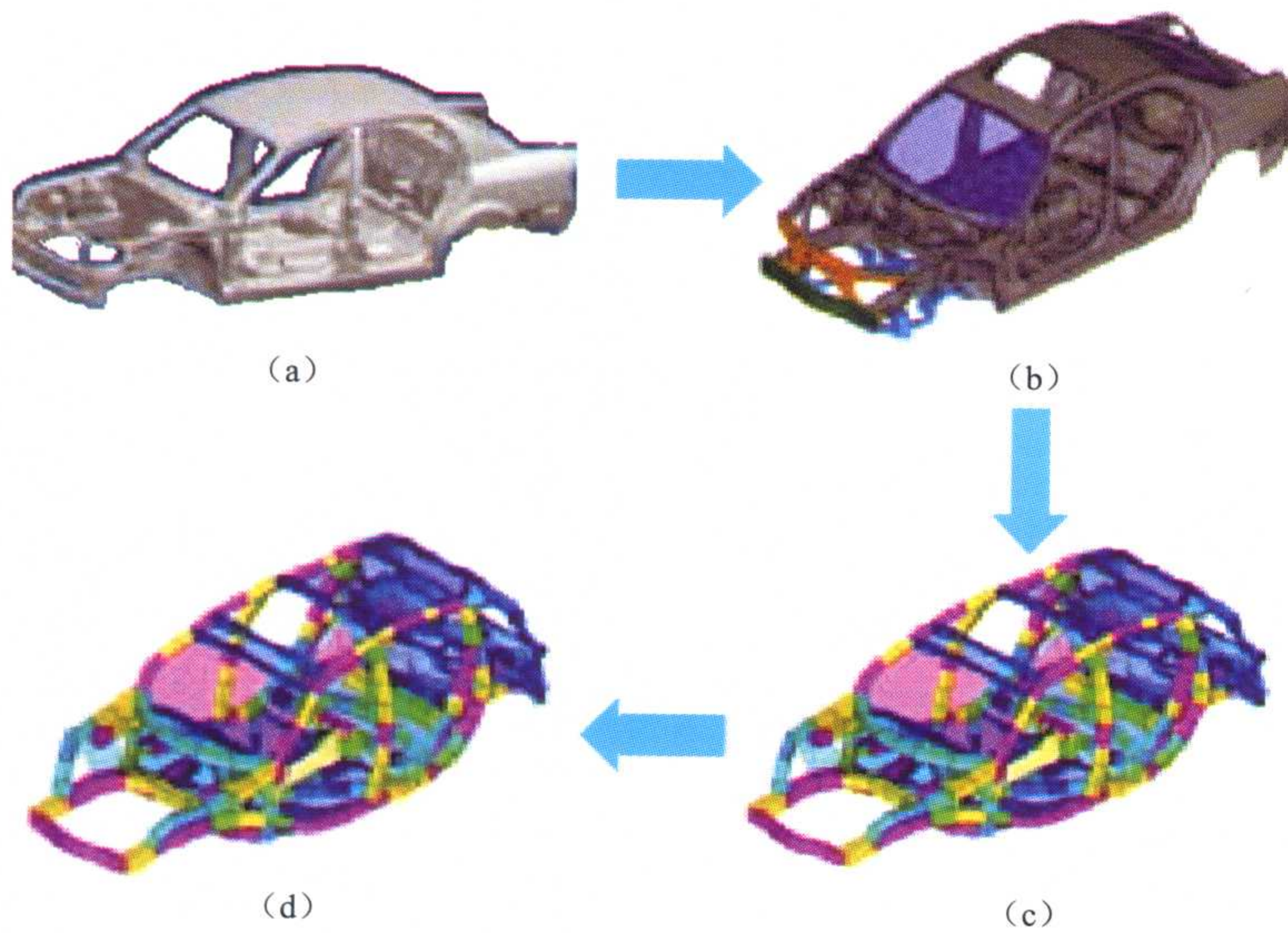


图 3.44 上汽集团车身概念设计流程

(a) 竞争车型 CAD 模型；(b) 竞争车型 CAE 模型；(c) 梁单元简化模型；(d) 修改后的简化模型

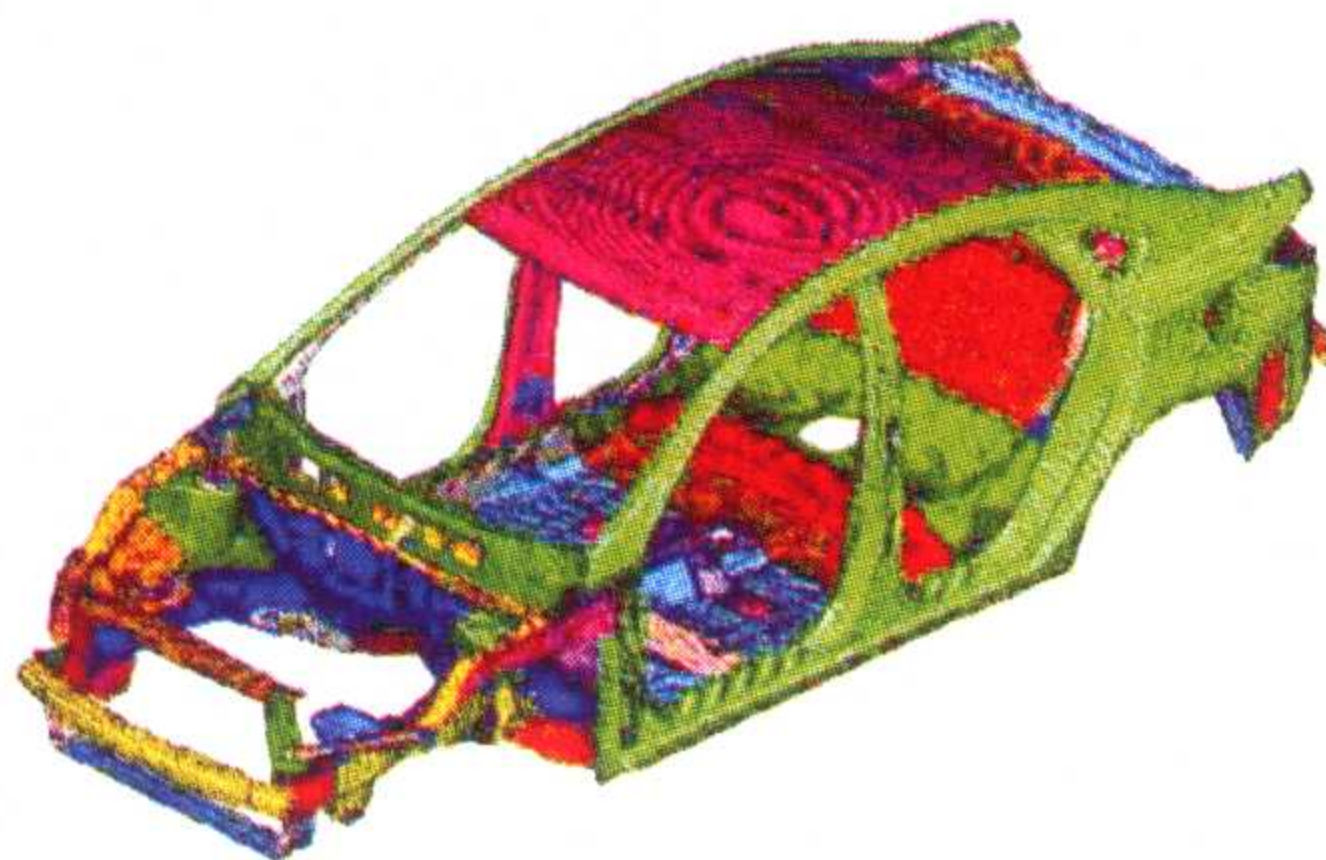


图 3.51 参数化白车身初始有限元模型

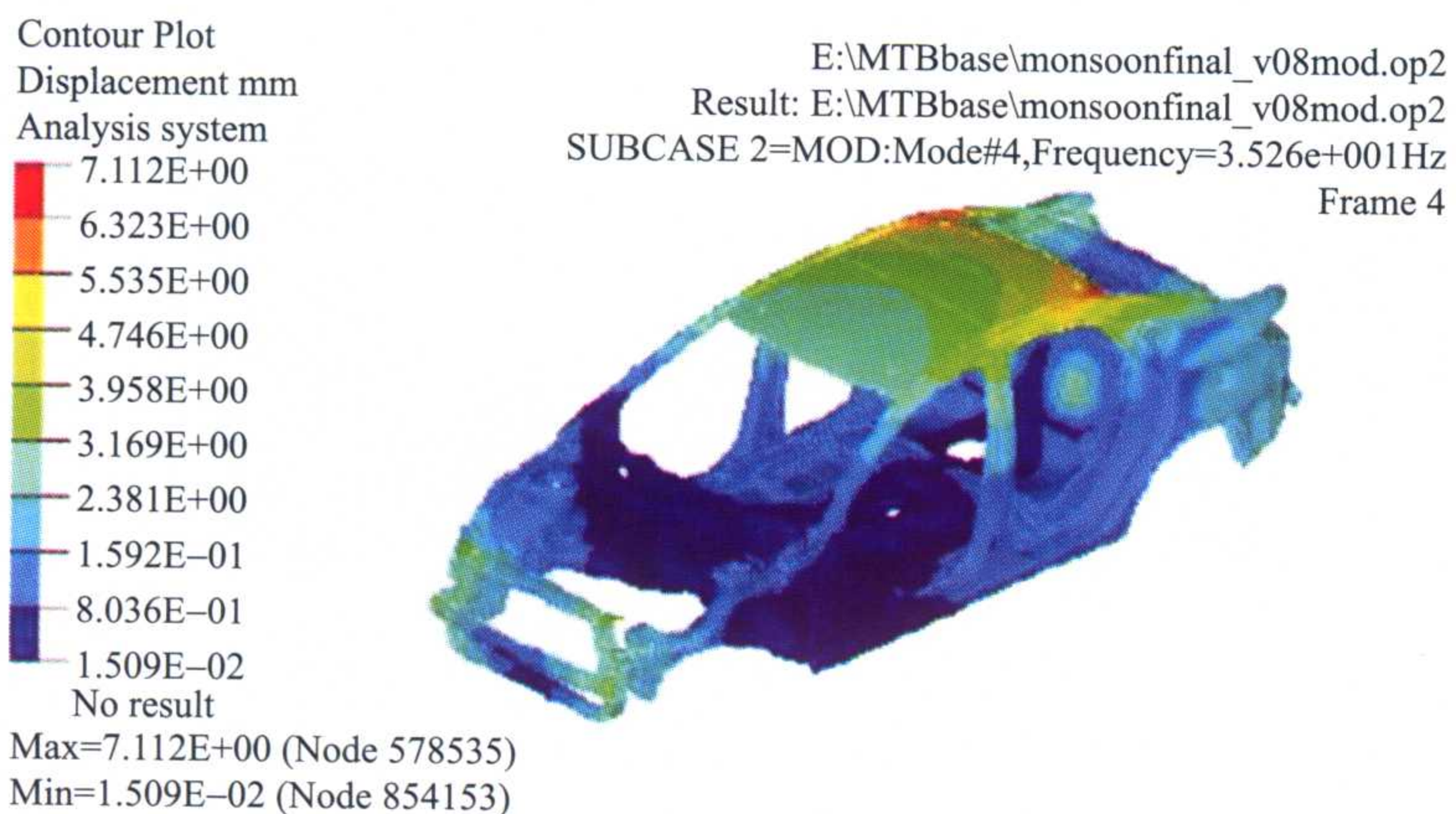


图 3.52 白车身一阶扭转模态频率和振型

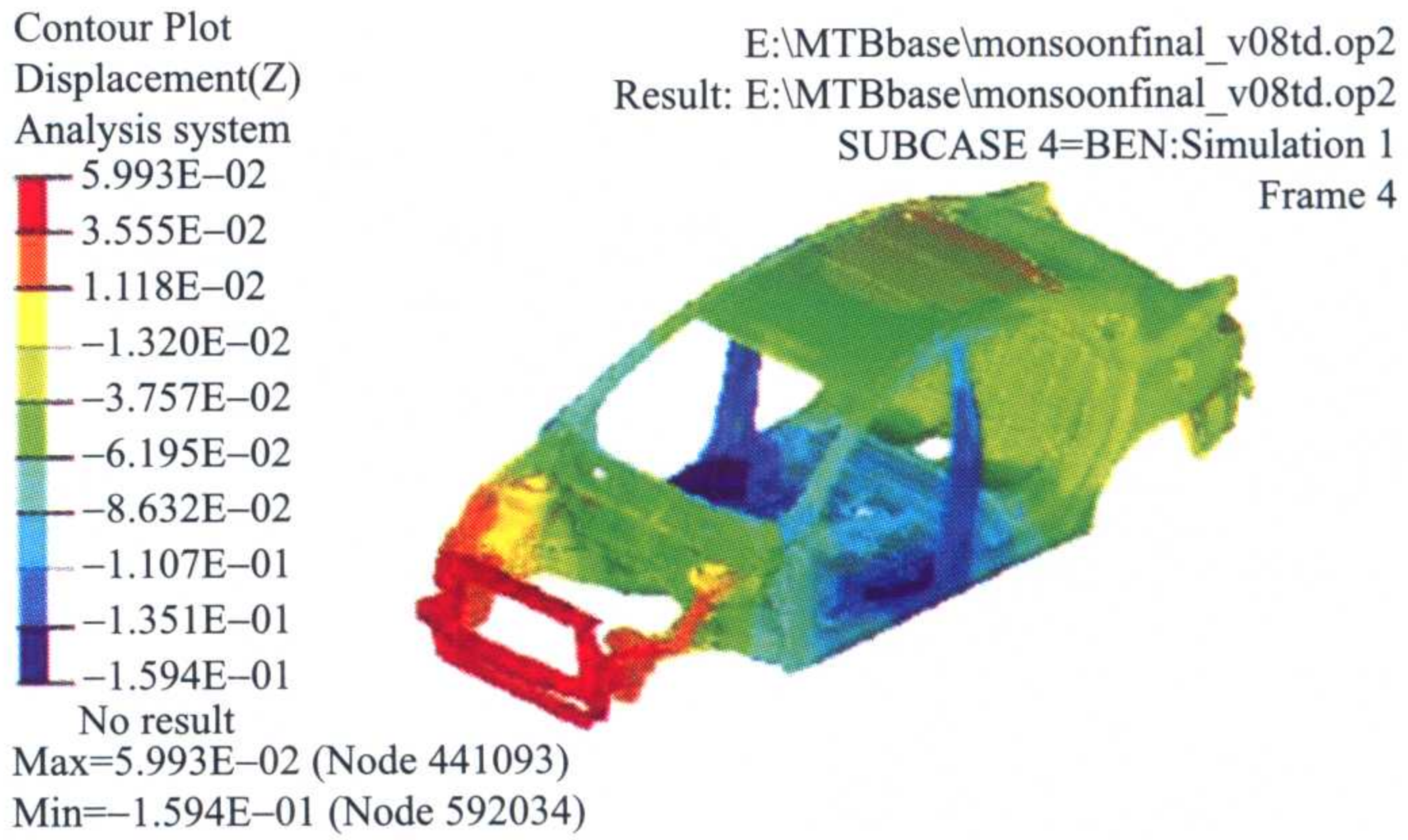


图 3.54 白车身弯曲刚度仿真分析

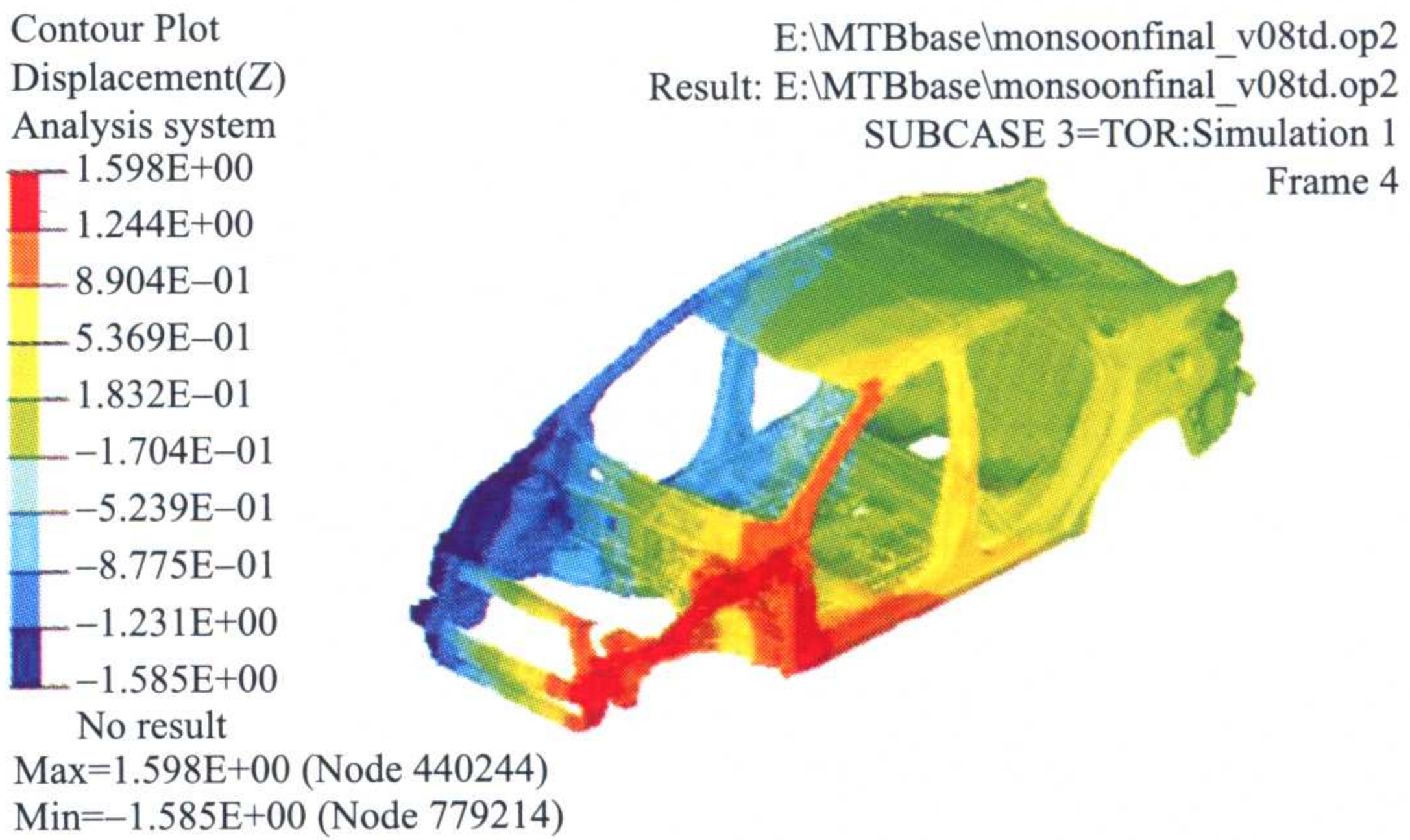


图 3.55 白车身扭转刚度仿真分析



图 3.57 整车碰撞有限元模型

图 3.60 白车身中非安全件厚度变量示意图

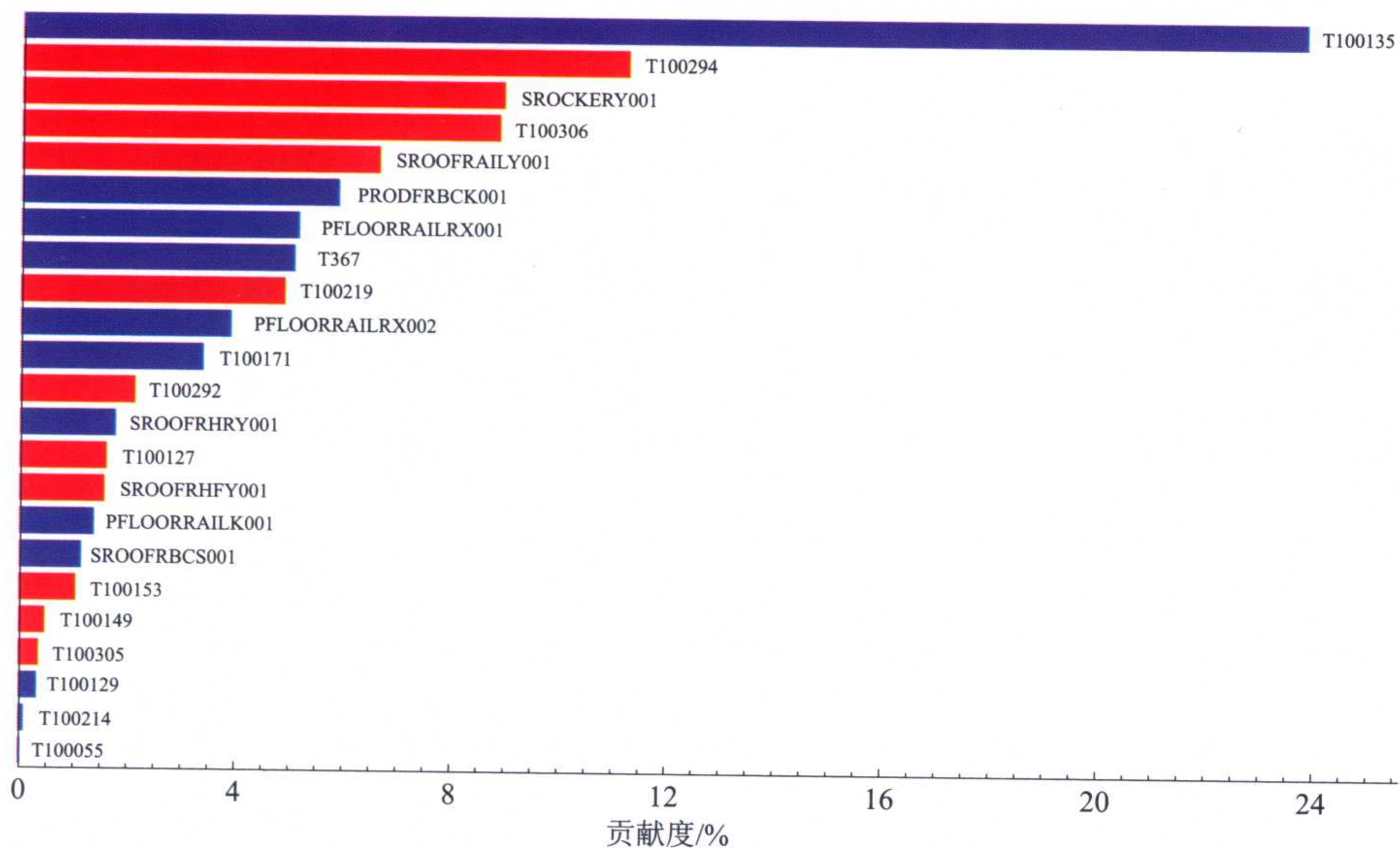


图 3.61 左侧门框最大变形量贡献度柱状图

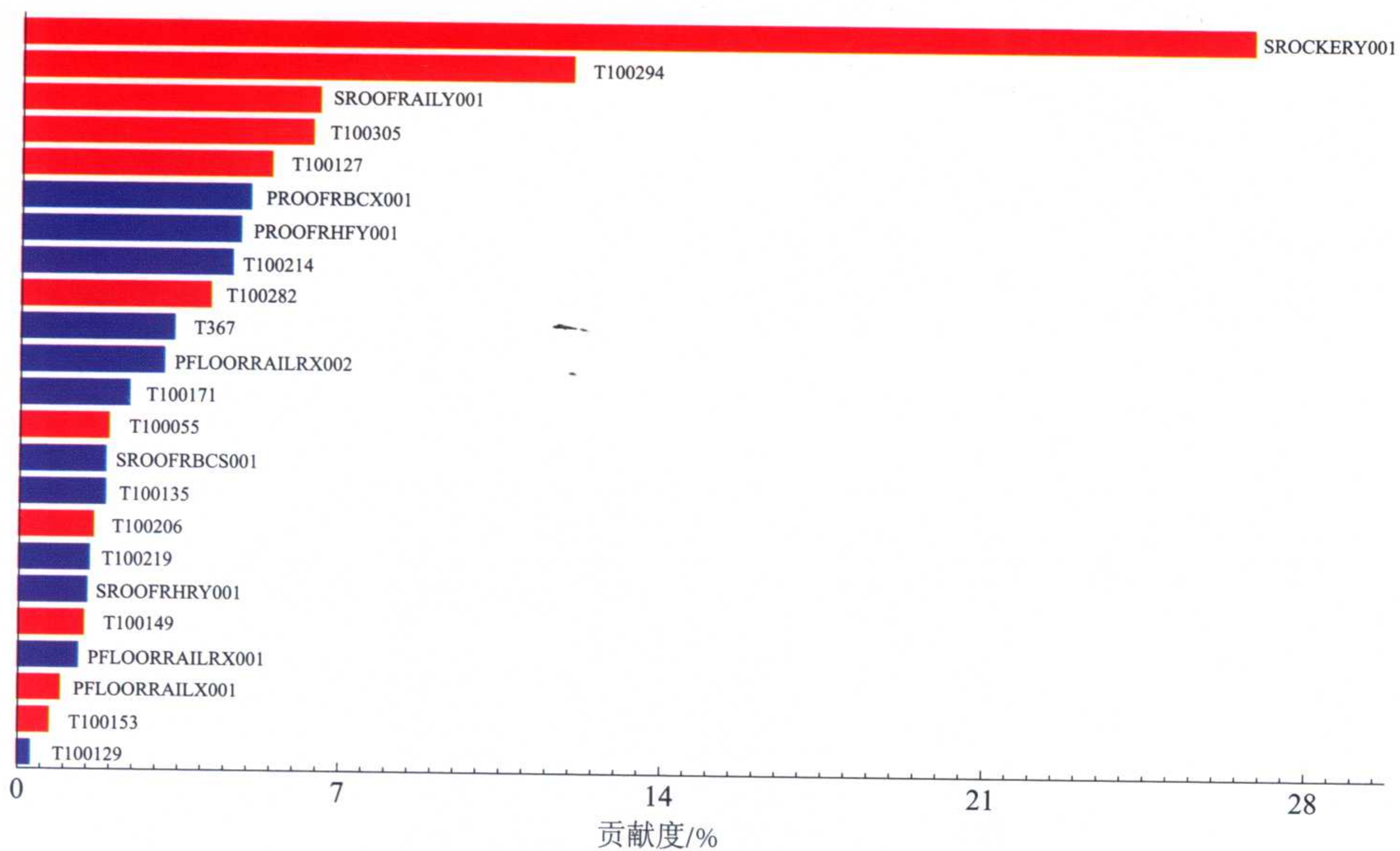


图 3.62 右侧门框最大变形量贡献度柱状图

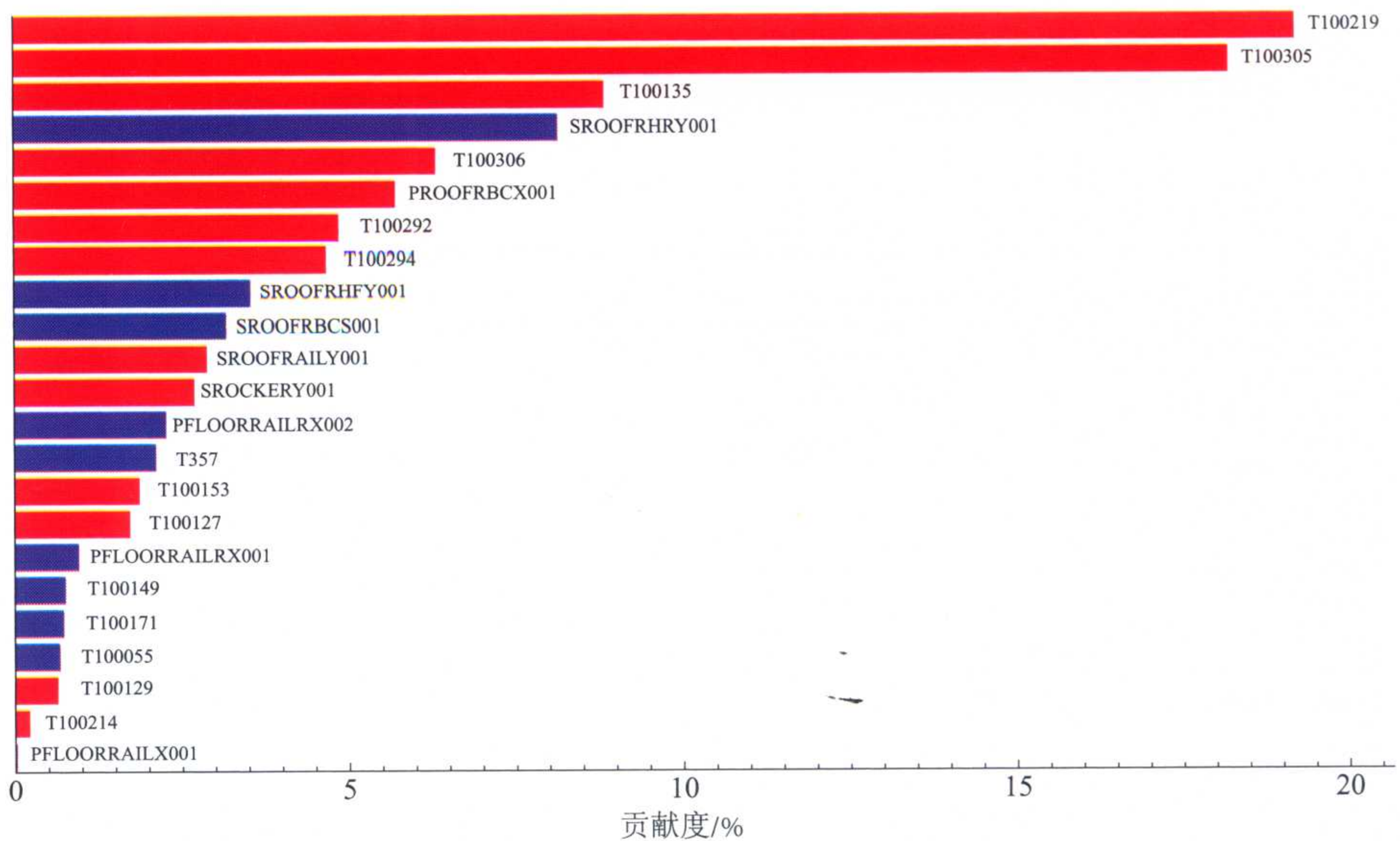


图 3.63 白车身一阶扭转固有频率贡献度柱状图

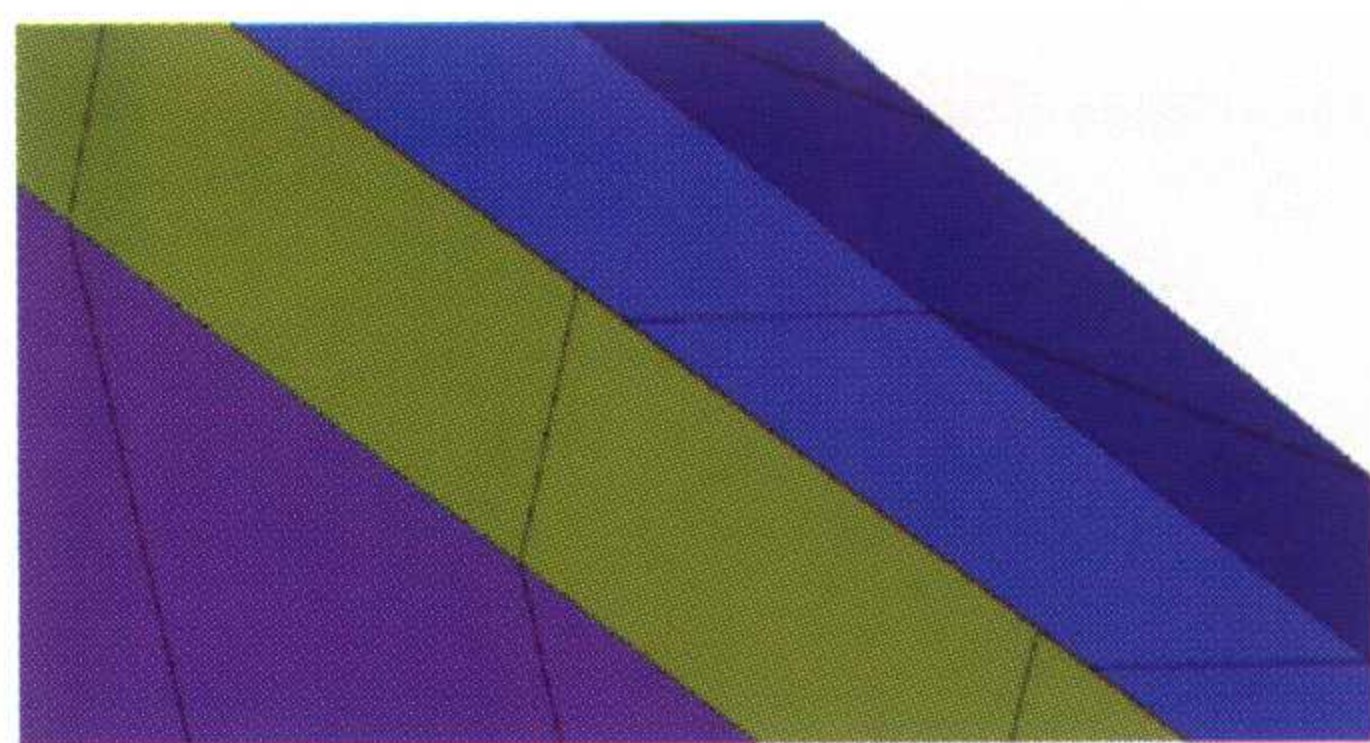


图 4.10 翻边连接图示

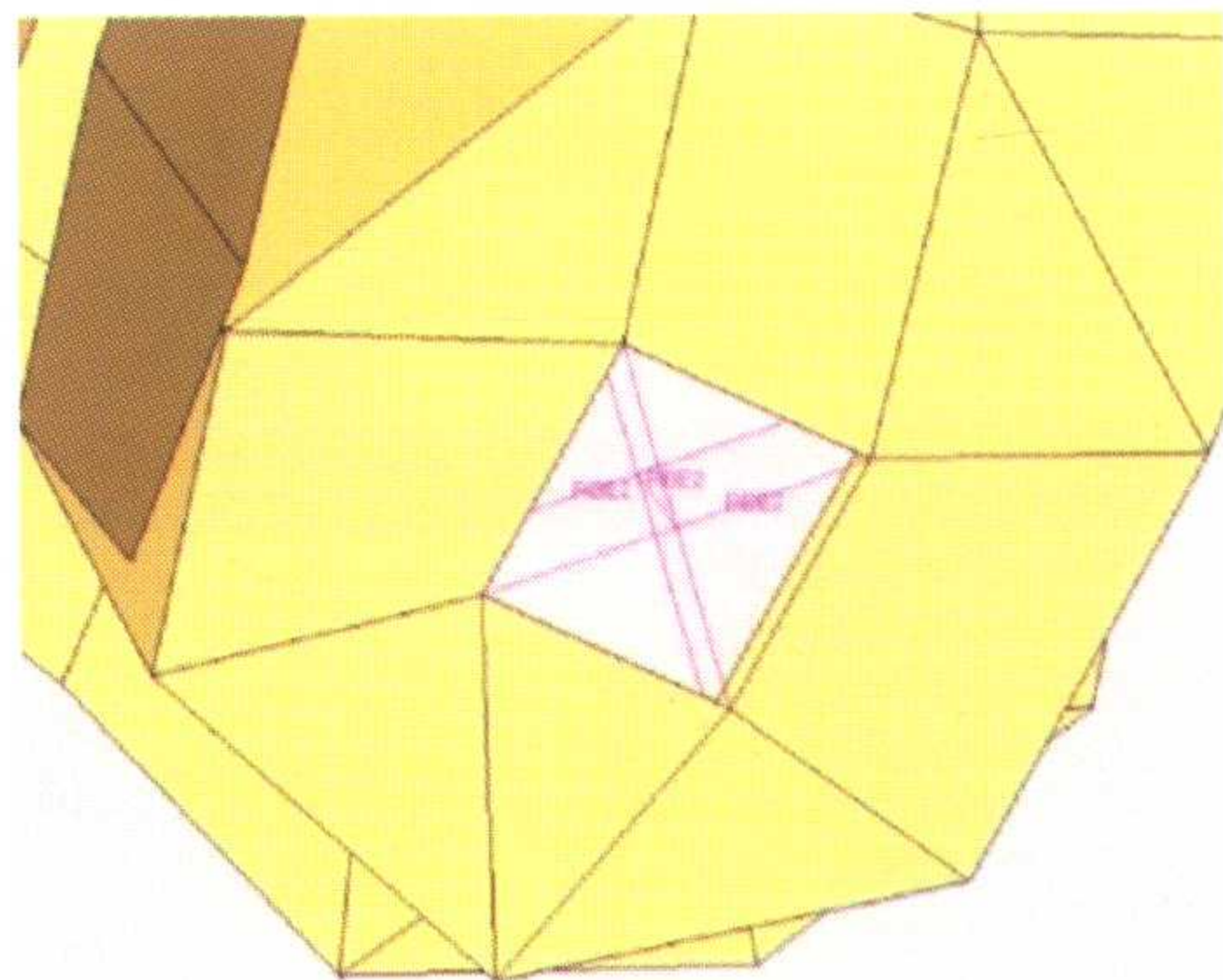


图 4.11 螺栓连接图示

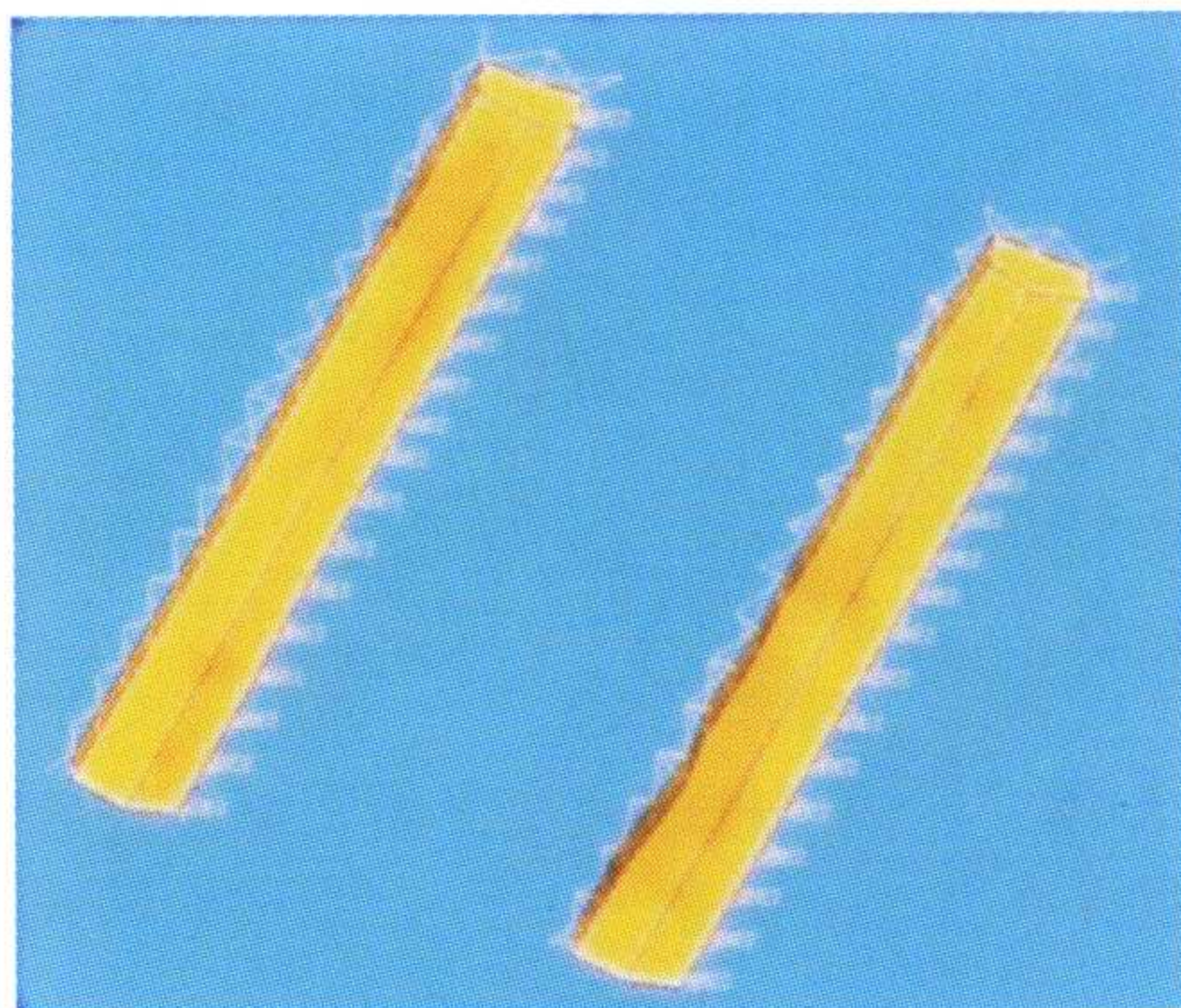


图 4.12 胶接图示

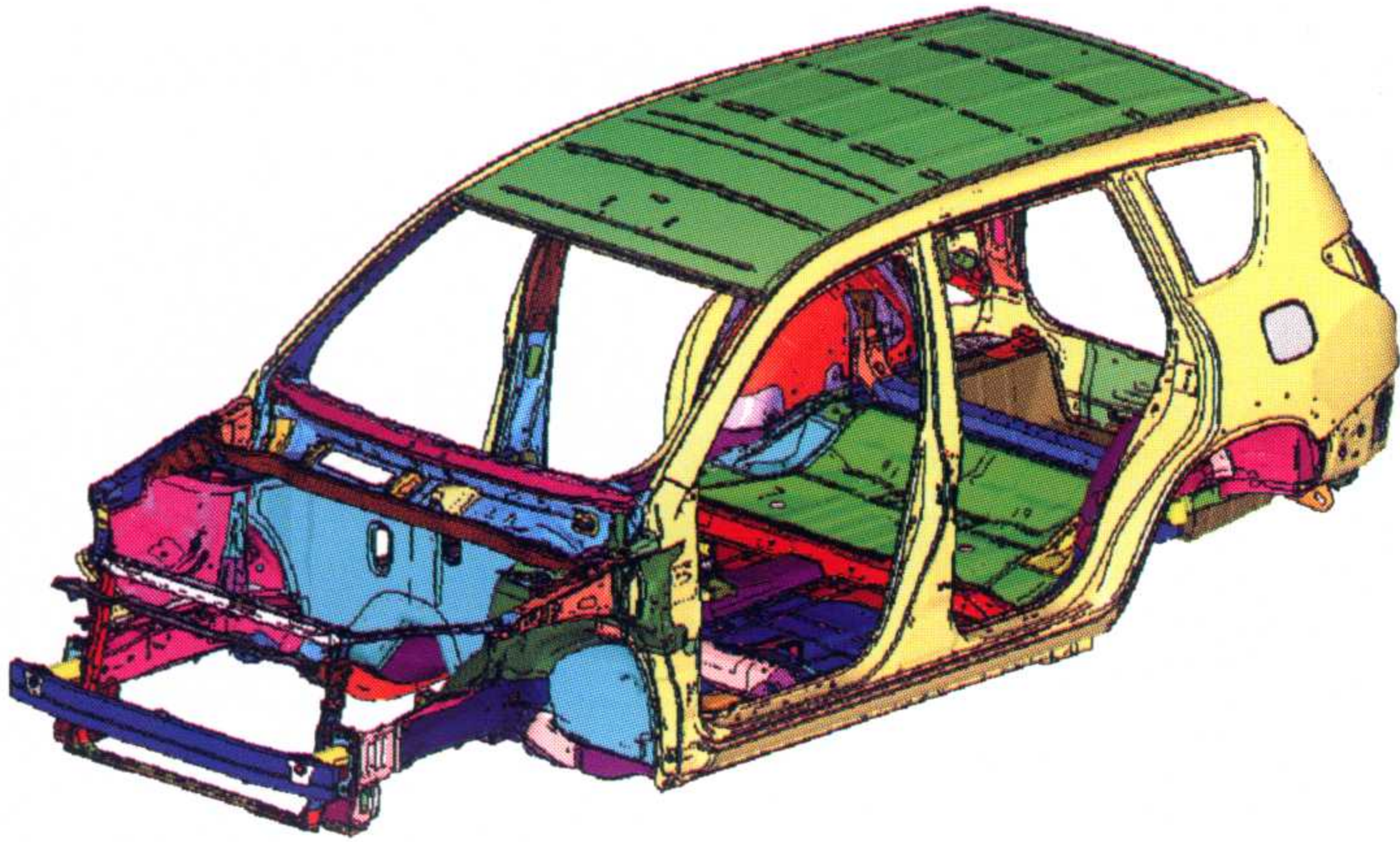
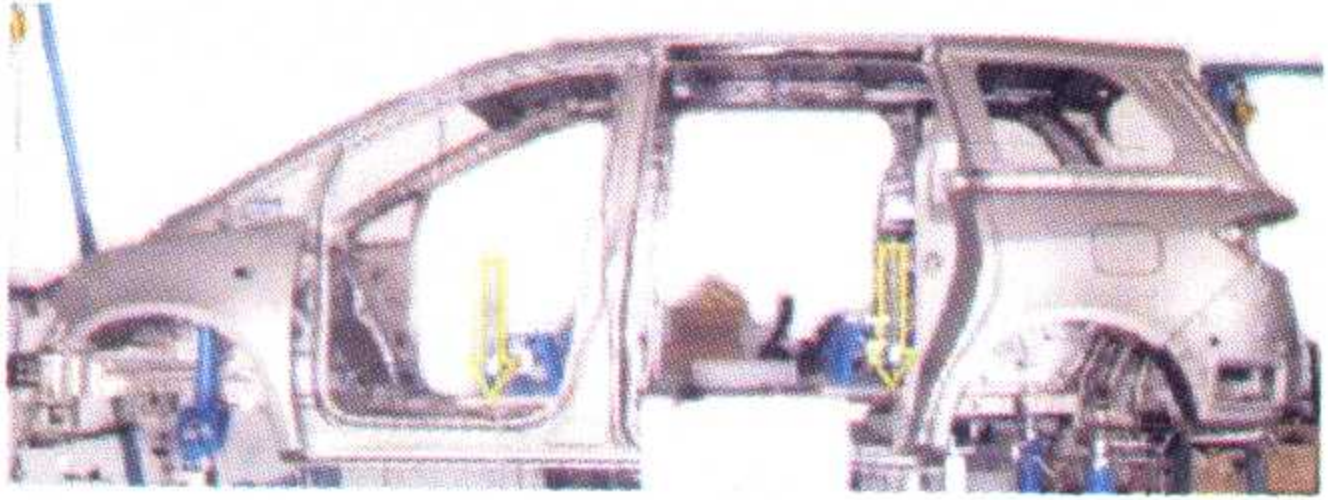
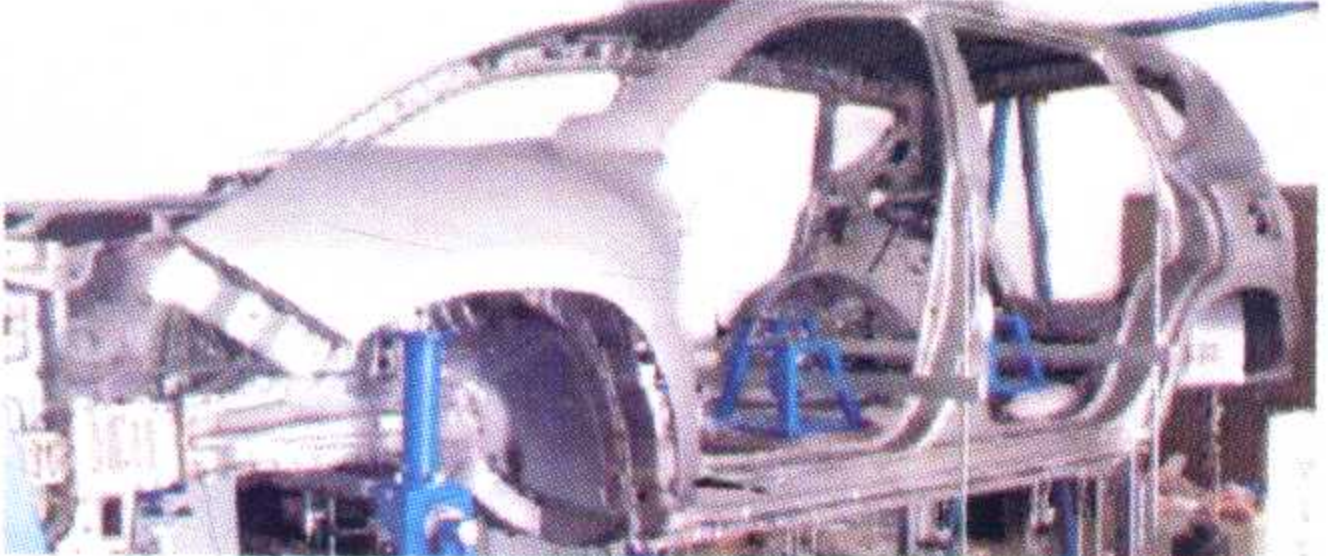




图 4.13 白车身有限元模型示意图

表 4.6 几款不同类型白车身的刚度试验结果

车型	试验照片	弯曲刚度/ ( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ )	扭转刚度/ [ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot (\text{°})^{-1}$ ]
某 MPV		11 838	12 830
某 SUV		13 741	15 061
某两厢轿车 A		17 881	11 719
某两厢轿车 B		6 759	8 950

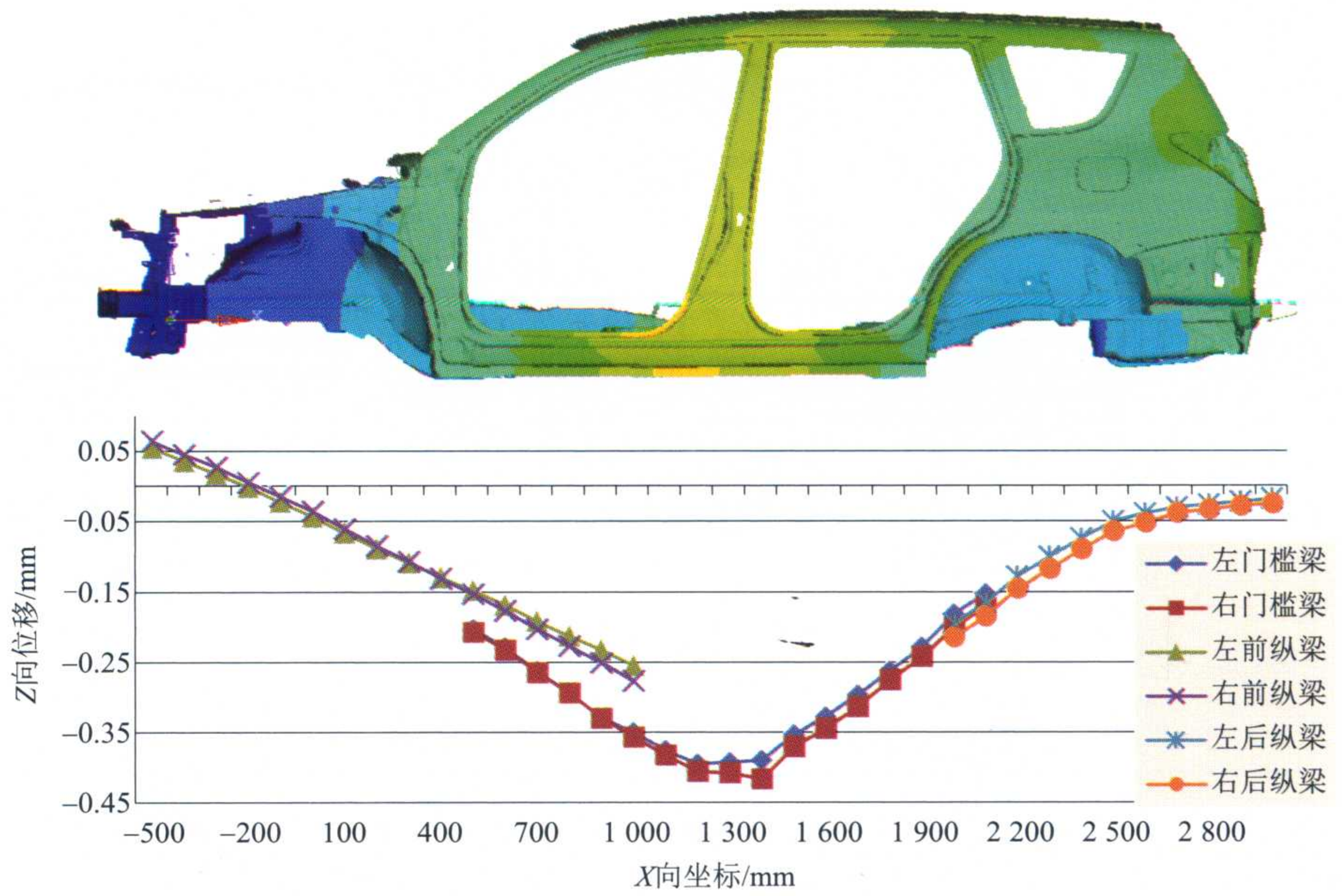


图 4.16 弯曲变形云图及弯曲刚度曲线

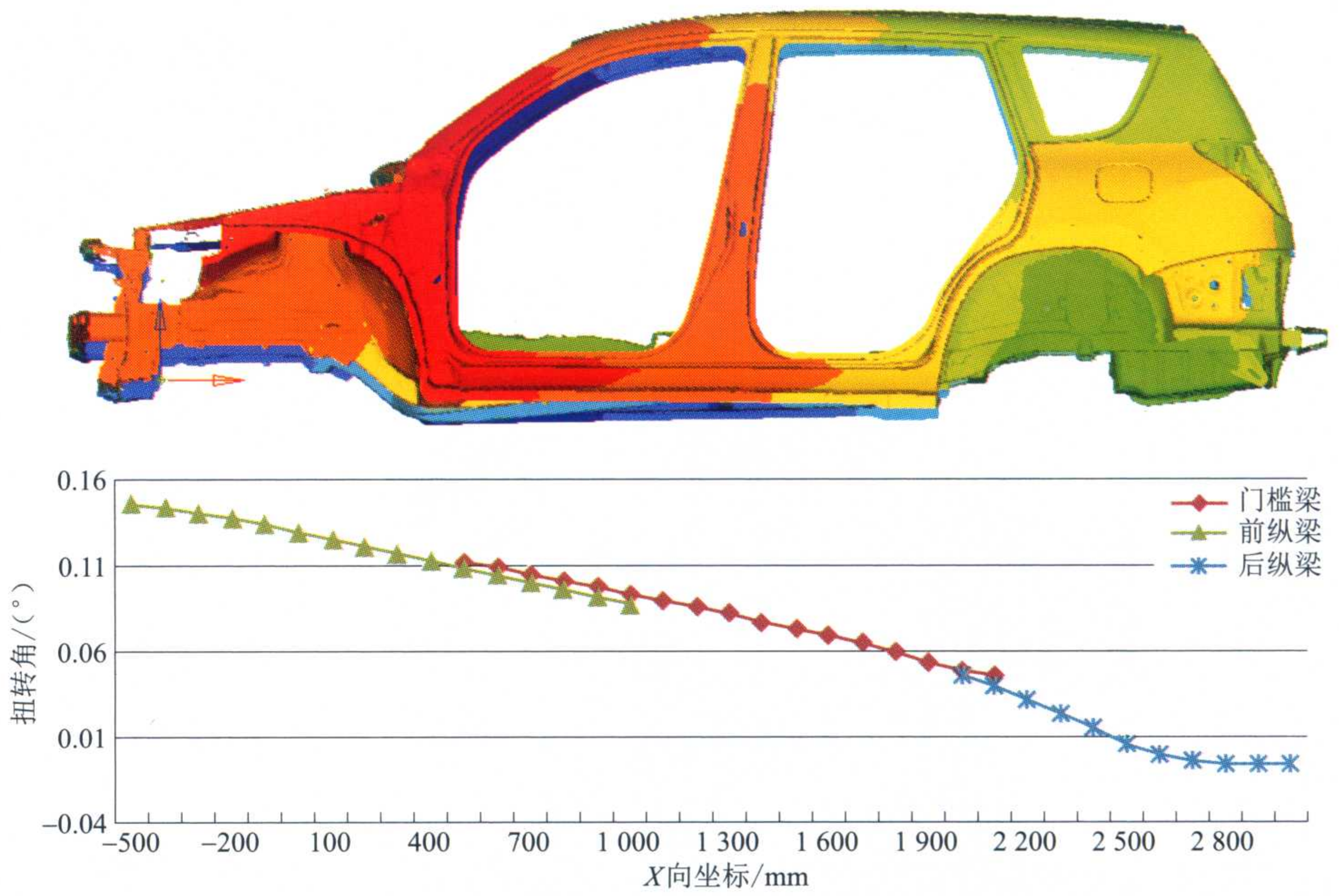


图 4.17 扭转变形云图及扭转刚度曲线

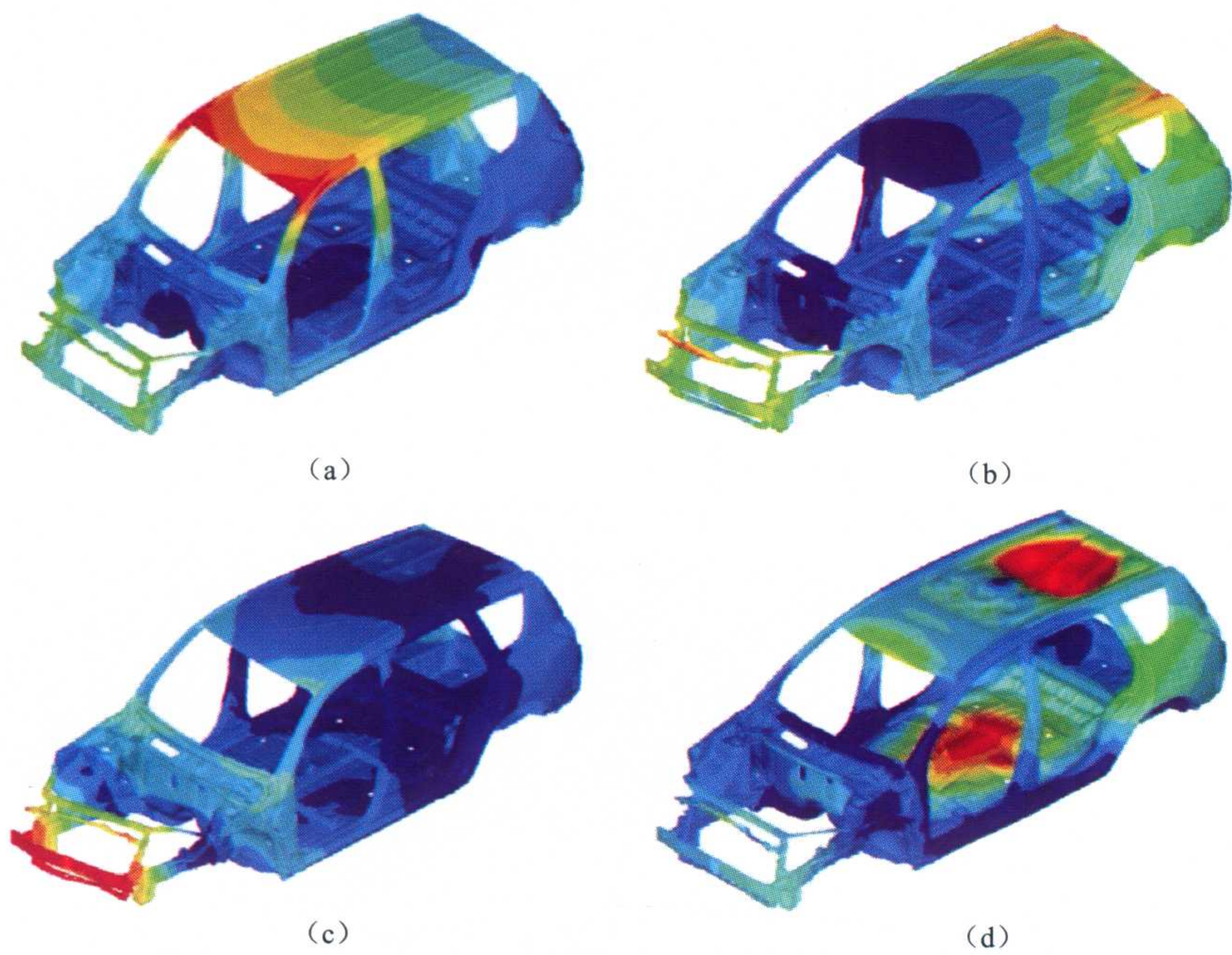


图 4.19 白车身前 4 阶模态振型图

(a) 1 阶，顶盖平移及前端扭转；(b) 2 阶，一阶扭转；  
(c) 3 阶，前端平移及一阶扭转；(d) 4 阶，一阶弯曲

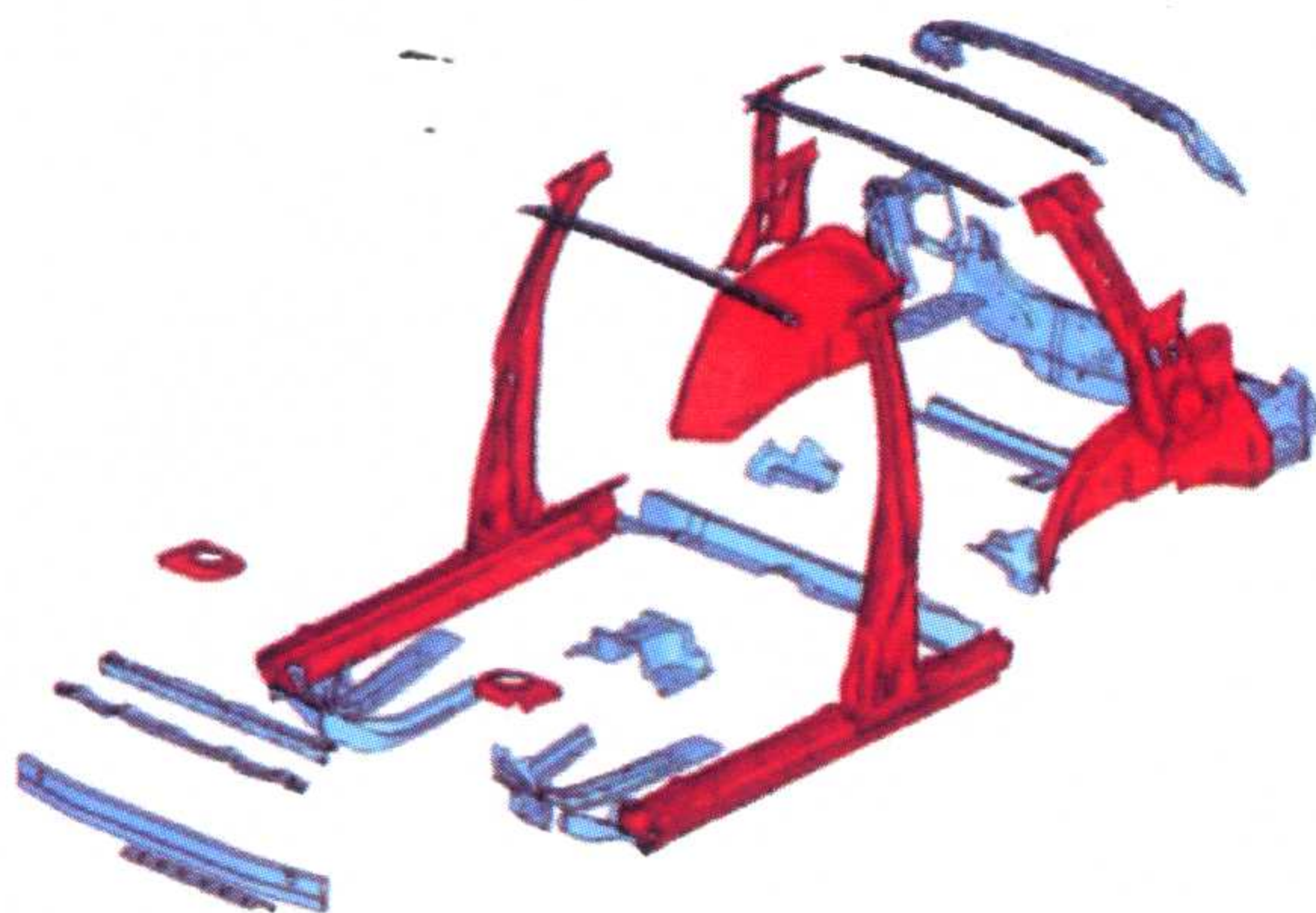


图 4.20 弯刚优化方案 1 的修改零件分布



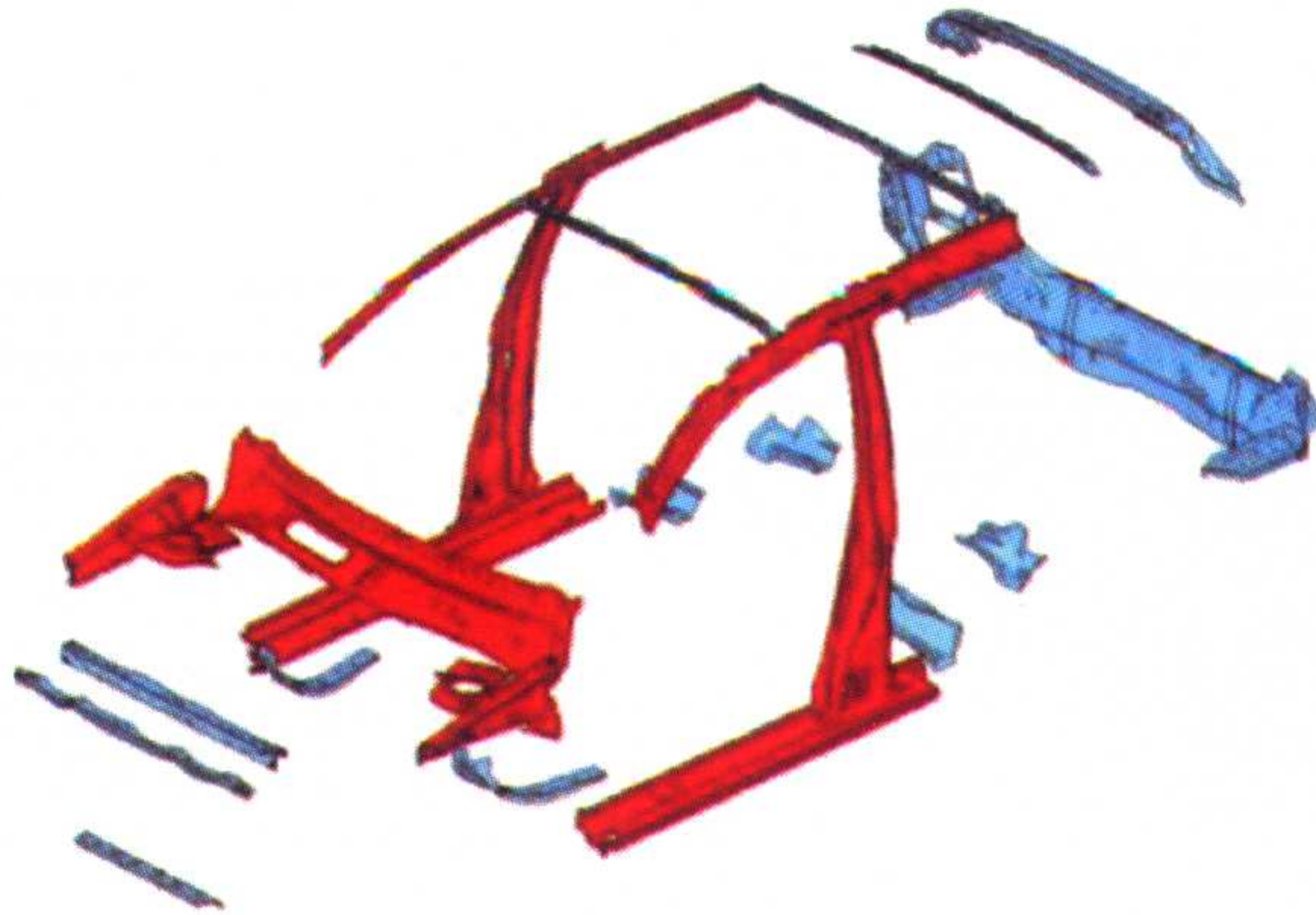


图 4.21 弯刚优化方案 2 的修改零件分布

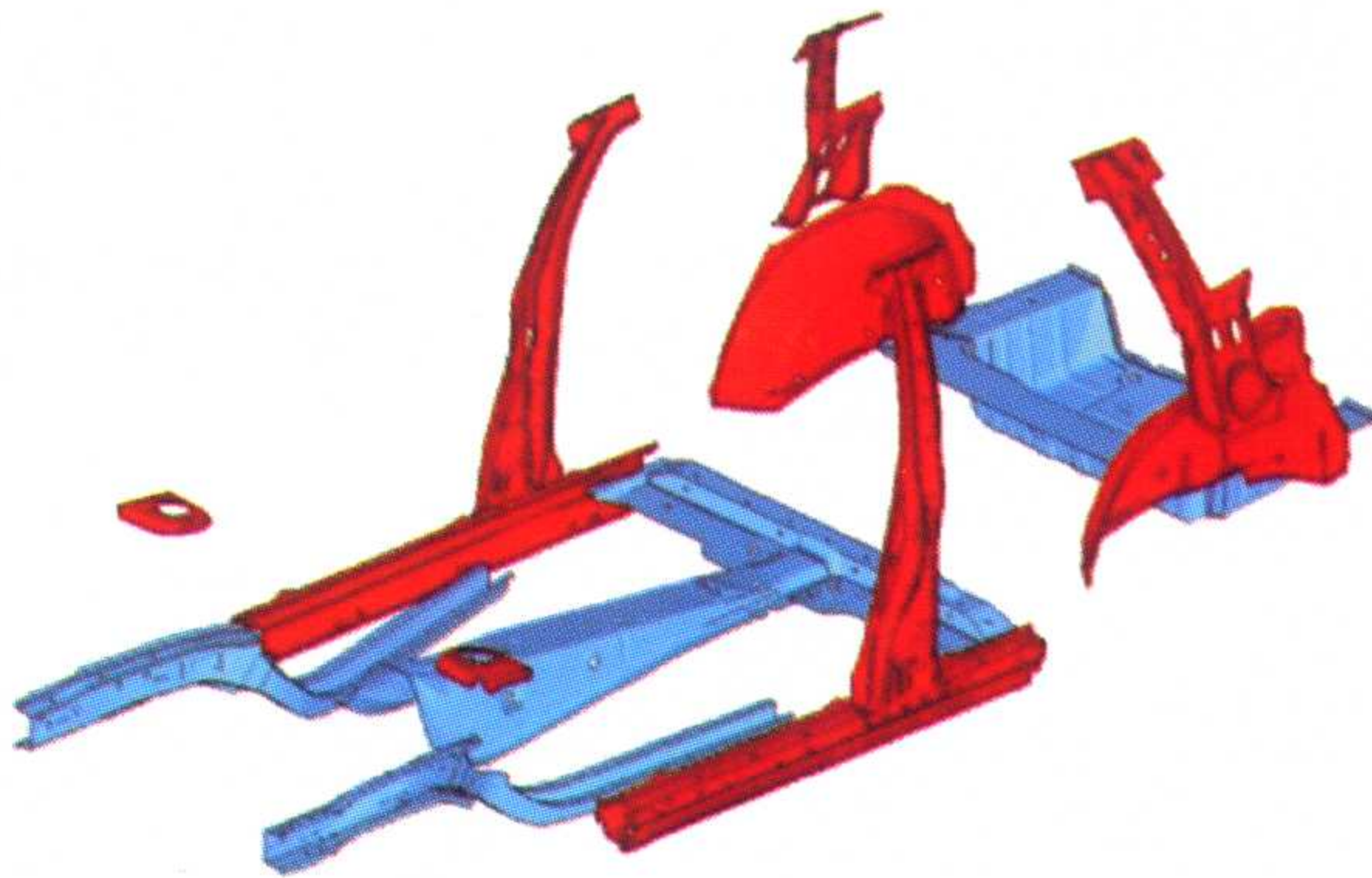


图 4.22 弯刚优化方案 3 的修改零件分布

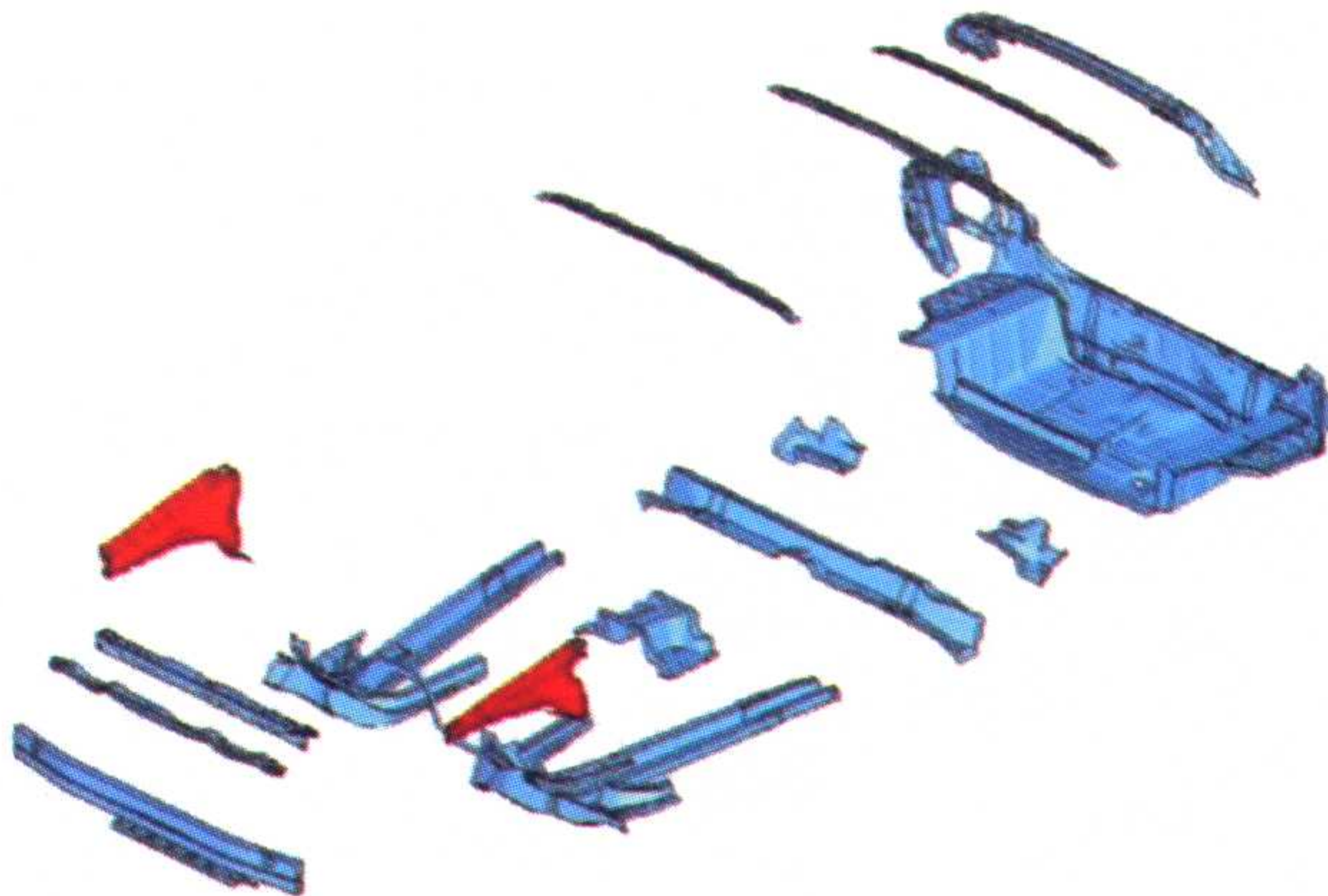


图 4.23 减重方案 1 的修改零件分布