

# 基于高强度汽车大梁钢的结构减重优化

## Structural Weight Reduction Optimization of High-strength Automobile Beam Steel

供稿|宋博, 郭晶, 孙倬 / SONG Bo, GUO Jing, SUN Zhuo

### 内容导读

建立高强度汽车大梁钢 BG700L 和 BG960L 的力学性能材料卡, 应用有限元分析软件对采用该钢制成的某车型汽车大梁进行了结构强度性能分析和刚度分析, 得到采用 2 种材料制成大梁的应力分布云图和 BG960L 材料大梁减重后的最大应力。结果表明, 减重后的最大应力明显小于材料的屈服强度, 有巨大的减重潜力。同时对大梁进行了刚度分析, 对比减重前后的大梁的位移量, 结果表明, 减薄后位移量增加不明显, 满足客户的验证要求, 可为汽车钢板结构优化分析提供参考。

近年来, 随着汽车产业的快速发展, 对于汽车的承载能力、使用寿命、节能减排以及材料升级切换等方面的要求越来越高<sup>[1]</sup>。国内多数钢铁企业在 700 MPa 级析出强化钢添加微合金元素铌 (Nb)<sup>[2]</sup>, 主要目的是为了提高汽车结构件的疲劳强度、降低部件重量, 实现结构轻量化<sup>[3-5]</sup>。商用汽车大梁作为主要承载部件, 几乎承担了车辆整备质量和运输货物的全部重量, 其力学性能对商用车行驶安全极为重要<sup>[6-9]</sup>。本研究以牌号 BG700L 和 BG960L 高强度汽车大梁用钢为例, 对 2 种不同材料的应力应变曲线进行了数据处理, 建立了应用于强度计算的力学性能材料卡。同时以某商用车型大梁为模型, 对采用 BG700L 和 BG960L 高强度钢制成的汽车大梁分别进行了强度载荷仿真模拟分析和刚度仿真模拟分析。在汽车零部件的正向设计开发过程中需要对多

个方面的工况进行检核和验证, 例如: 模态分析、强度工况分析、刚度工况分析、疲劳工况分析以及屈曲工况分析等。本文针对汽车大梁的强度工况和刚度工况对其结构进行优化, 进而实现轻量化的目的。

### 力学性能

#### 材料属性

高强度汽车大梁用钢 BG700L 和 BG960L 的材料力学性能如表 1 所示。从表 1 可以看出, BG960L 的屈服强度和抗拉强度分别为 1070 和 1180 MPa, 明显优于 BG700L 的屈服强度 (736 MPa) 和抗拉强度 (786 MPa)。通过拉伸试验测得材料的工程应力-工程应变曲线, 再将工程应力曲线转化为真实应力-真实应变曲线, BG960L 的力学性能显著优于

表 1 BG700L 和 BG960L 的力学性能

| 牌号     | 抗拉强度/MPa | 屈服强度/MPa | 延伸率/% | 杨氏模量/MPa | 泊松比 |
|--------|----------|----------|-------|----------|-----|
| BG700L | 736      | 786      | 14    | 210000   | 0.3 |
| BG960L | 1070     | 1180     | 12    | 210000   | 0.3 |

BG700L。两种材料的塑性变形的真实应力-真实应变曲线如图 1 所示。

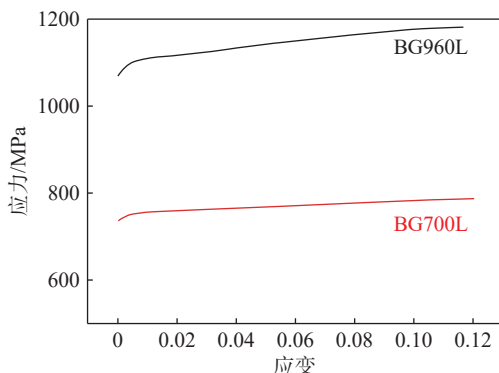


图 1 BG700L 和 BG960L 的应力-应变曲线

### 力学性能材料卡

应用有限元分析软件制作 2 种材料的力学性能材料卡片, 编辑 BG700L 和 BG960L 高强度钢材料的密度、杨氏模量、泊松比等材料参数, 并将真实应力应变曲线导入有限元分析软件中, 所制成的 BG700L 和 BG960L 高强度汽车大梁用钢的材料卡片数据如图 2。

|                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| (a) *Material, name=BG700L | (b) *Material, name=BG960L |
| *Density                   | *Density                   |
| 7.85e-09,                  | 7.85e-09,                  |
| *Elastic                   | *Elastic                   |
| 210000., 0.3               | 210000., 0.3               |
| *Plastic                   | *Plastic                   |
| 736., 0.                   | 1070., 0.                  |
| ⋮                          | ⋮                          |

图 2 高强度钢力学性能材料卡片: (a) BG700L; (b) BG960L

## 汽车大梁有限元模拟分析

### 有限元模型的前处理

建立某商用车型大梁的三维几何模型, 为保证仿真模拟分析的准确程度, 将模型的设计尺寸与真实零件的设计尺寸比例设置为 1:1, 几何模型如图 3 所示。使用 Hypermesh 前处理软件对模型进行几何清理与网格划分, 网格标准尺寸取 8 mm×8 mm, 网格单元类型为壳单元, 网格数量为 103955 个。大梁

的上下板厚都为 10 mm, 加强板厚度为 5 mm, 整体质量为 440 kg。在强度仿真模拟分析中材料分别选用 BG700L 和 BG960L。在汽车大梁的强度分析过程中, 设定汽车载重量为 20 t, 将 20 t 的载重量耦合到大梁上板, 模拟汽车大梁的承重状态。为了满足车辆行驶过程中的最大承载能力的设计要求, 在此条件下, 对整个汽车大梁施加 2.5g ( $g$  为重力加速度) 的加速度载荷, 来模拟行驶过程中的最恶劣的极限工况。通过约束  $A$  点来模拟前悬架的板簧支撑作用, 约束  $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$  四点来模拟后悬架的板簧支撑作用, 其中对  $A$  点约束 123 ( $XYZ$  向位移) 方向自由度, 而对  $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$  四点约束 3 ( $Z$  向位移) 方向自由度<sup>[10-11]</sup>, 约束方式如图 4 所示 (RBE3 代表柔性连接)。

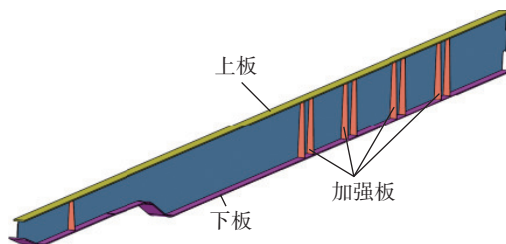


图 3 某车型大梁设计模型

### 汽车大梁强度分析

将 Hypermesh 软件中输出的设置文件导入有限元分析软件中进行求解, 求解后的输出文件再导入 Hyperview 软件中进行后处理并输出仿真结果, 本文应用 Von Mises 应力作为计算应力和判断标准。

不同的约束方式和载荷加载方法会对仿真结果产生影响, 所以本研究在相同的约束和加载条件下, 分别对 BG700L 和 BG960L 2 种材料制成的汽车大梁进行了分析对比。图 5 为分别为相同加载和约束条件下, 采用 BG700L 和 BG960L 2 种材料制成汽车大梁的应力云图。从图 5 中可以看出, 因为汽车大梁在受载时还处于弹性变形阶段, 所以采用 2 种材料的模型的应力一致。在相同的加载和约束条件下, BG960L 材料的制成的汽车大梁的应力与 BG700L

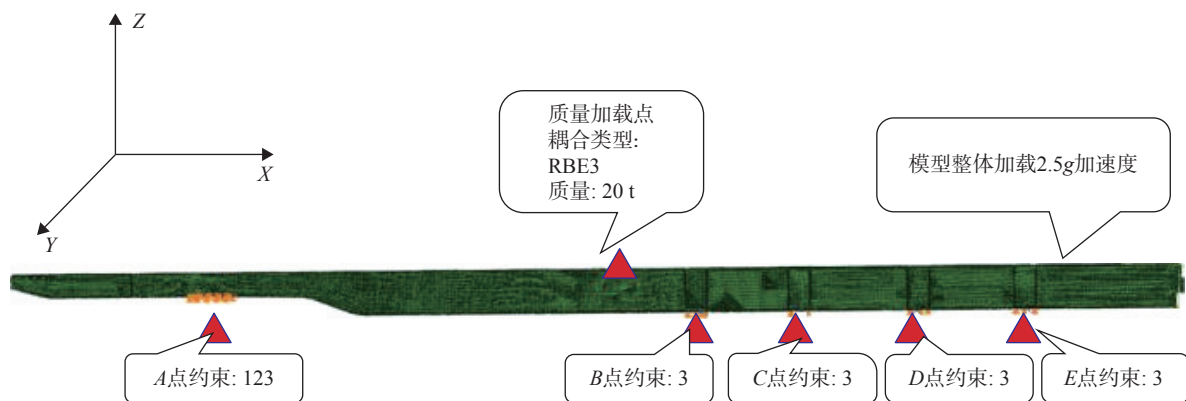


图4 汽车大梁强度仿真模拟的有限元模型

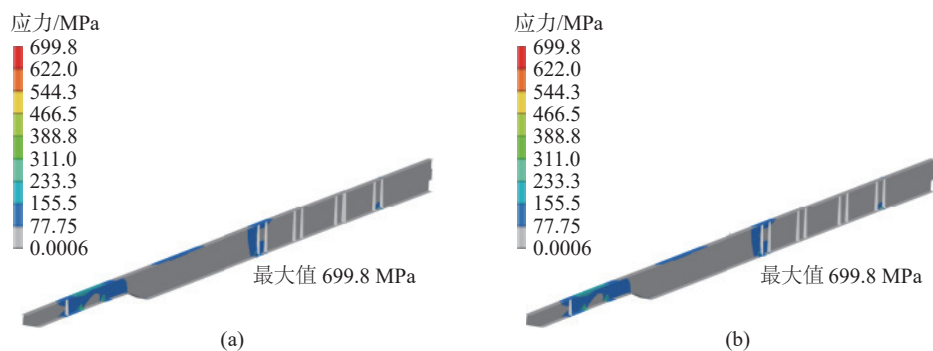


图5 大梁强度分析应力云图: (a) BG700L; (b) BG960L

材料的最大应力都为 699.8 MPa，应力均小于屈服强度，均在安全使用范围之内。

为了提高材料的利用率，达到减重和节约成本的目的，对此模型进行了减重处理，将大梁模型的上下板厚都减薄至 8 mm，加强板厚度减薄至 4.5 mm，减重后质量为 355 kg，减重率约为 20%。使用相同的分析方法，对减重后的汽车大梁进行强度分析，材料选择 BG960L。图6为减重后汽车大梁的强度分析的应力云图。从图6中可以看出，减薄后的大梁最大应力位置处于模型的最下侧，与减重前基本一致。最大应力为 874.3 MPa，比较减重前有所增加，应力还未达到材料屈服强度 1070 MPa，能够满足汽

车大梁的强度工况的使用要求，并且存在进一步的减薄潜力。

#### 汽车大梁刚度分析

为了进一步验证减重的可行性，进行了大梁减重前后的刚度分析。刚度的分析方法如图7所示，分析方法与强度分析类似，对A点约束123方向自由度，而对B、C、D、E四点约束3方向自由度。因为零件的刚度只与材料的杨氏模量、泊松比以及零件的结构有关系，而BG700L和BG960L的杨氏模量和泊松比一致，所以本研究只对比了BG700L原设计方案和BG960L减重方案的刚度。图8为减重后的力与位移曲线，减重前加载点的Z向位移为

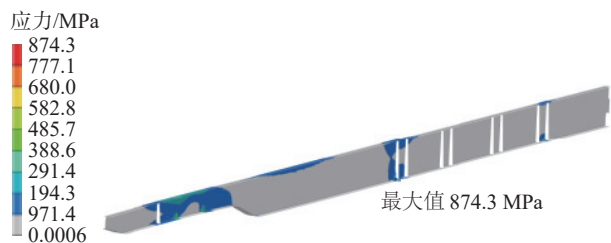


图6 减重后大梁强度分析应力云图

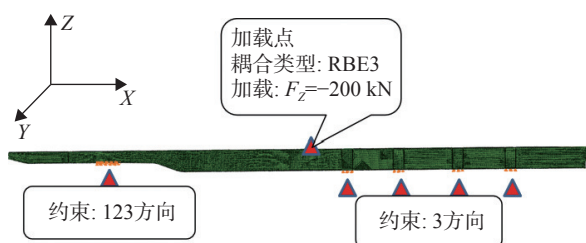


图7 刚度分析模型

0.77 mm, 减重后加载点的 Z 向位移为 0.9 mm。在线性计算过程中, 刚度值为力和位移的比值, 因此减重前大梁的刚度为 266 kN/mm, 减重后刚度为 203 kN/mm。此车型商用车设计要求为加载点的 Z 向位移不能大于 3 mm, 而减重后的位移量并没有明显的增加, 并且在安全使用范围内。

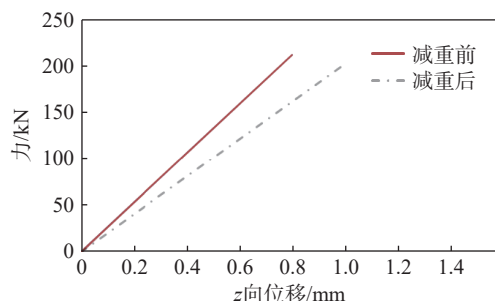


图 8 减重前后的力-位移曲线

## 结束语

以高强度汽车大梁用钢 BG700L 和 BG960L 为例, 针对强度工况和刚度工况进行仿真并进行结构优化。建立静态力学性能材料卡片, 并应用到汽车大梁的强度和刚度仿真模拟分析中, 研究结果表明:

(1) 建立高强度汽车钢 BG700L 和 BG960L 的材料性能卡片, 应用于强度有限元分析, 提高强度模拟分析的准确度, 对于汽车的轻量化和选材具有指导意义。

(2) BG960L 材料的屈服强度和抗拉强度明显优于 BG700L, 分别对采用 2 种材料制成的某车型大梁进行强度分析, 模拟结果显示采用 BG960L 高强度钢的大梁钢力学性能良好。减重后采用 BG960L

制成的汽车大梁的最大应力远小于屈服强度, 具有良好的减重空间, 并且能够达到认证要求。

(3) 应用有限元分析软件, 对减重前后的结构进行刚度分析, 并对比了分析结果。模拟结果显示减重后的位移量比减重前的位移量增加 0.13 mm, 没有明显减弱, 在合理使用范围之内。

## 参考文献

- [1] 李光瀛, 马鸣图. 我国汽车板生产现状及展望. 轧钢, 2014, 31(4): 22
- [2] 贺岩松, 官磊, 徐中明, 等. 商用车驱动桥壳的疲劳分析. 世界科技研究与发展, 2010, 32(5): 633
- [3] 陈蕴博, 马鸣图, 王国栋. 汽车用非调质钢的研究进展. 中国工程科学, 2014, 16(2): 4
- [4] 马鸣图, Shi M F. 先进的高强度钢及其在汽车工业中的应用. 钢铁, 2004(7): 68
- [5] 张楠, 田志凌, 潘辉, 等. 热轧汽车结构钢在轻量化商用车上的发展与应用. 汽车文摘, 2020(9): 1
- [6] 康永林, 朱国明. 中国汽车发展趋势及汽车用钢面临的机遇与挑战. 钢铁, 2014, 49(12): 1
- [7] 高志国. 屈服强度 700 MPa 高强度低合金汽车钢板研发进展. 热加工工艺, 2019, 48(7): 6
- [8] 郭晶, 孙倬, 宋博. 基于热成形钢的白车身正碰性能模拟与评价. 金属世界, 2023(4): 1
- [9] 郭晶, 宋博, 王铭泽. 面向轻量化的热成形钢白车身刚度分析. 金属世界. 2023(5): 48
- [10] 张志建, 周祖安, 赵江涛, 等. 板坯加热温度对高强度汽车大梁钢性能的影响//第八届(2011)中国钢铁年会. 北京, 2011
- [11] 李金龙. 某轿车白车身刚度、强度及模态有限元分析[学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2015

作者简介: 宋博(1989—), 男, 辽宁省本溪市人。2017年毕业于沈阳理工大学车辆工程专业, 主要研究方向: 有限元仿真技术。通信地址: 辽宁省本溪市明山区环山路 36 号; E-mail: lengyu\_qi@126.com。