

团 体 标 准

T/CSAE XX—2020

碳纤维复合材料前保险杠防撞梁 设计方法

Design method for CFRP bumper beam

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的该标准所涉必要专利信息连同支持性文件一并附上。

2020-xx-xx发布

2020-xx-xx实施

中国汽车工程学会 发布

前言

本技术规范按照 GB/T1.1-2009《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写规则》要求起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本技术规范针对前保险杠防撞梁设计要求，对碳纤维复合材料前保险杠防撞梁的设计方法进行规范性的规定和说明，对普通乘用车前保险杠防撞梁的设计起引导作用，为不同车型的普通乘用车前保险杠防撞梁的设计提供一种通用的方法，类似车型也可参照执行。

本规范由汽车轻量化技术创新战略联盟提出。

本规范由中国汽车工程学会批准。

本规范由中国汽车工程学会归口。

本规范起草单位：吉林大学、重庆长安汽车股份有限公司、上海汽车集团股份有限公司

本规范主要起草人：陈静、王登峰、刘震、彭博、田凯、刘波、徐祥合等。

本规范于 2020 年 x 月首次发布。

碳纤维复合材料前保险杠防撞梁设计方法

1 范围

本技术规范规定了碳纤维复合材料前保险杠防撞梁设计方法。

本技术规范适用于 M1 类乘用车前保险杠防撞梁，类似车型（整车整备质量小于 3.5 t 的其他乘用车）可参照执行。

2 规范引用文件

下列标准对于本文件的应用是必不可少的。凡是注明日期的引用文件，其随后所有的修改（不包括勘误内容）或修订版均不适用于本规范，但鼓励根据本规范达成协议的各方研究使用这些文件最新版本的可能性。

GB/T 4780-2000 《汽车车身术语》；

GB 17354-1998 《汽车前后端保护装置》；

GB 24550-2009 《汽车对行人的碰撞保护》；

GB/T 33582-2017 《机械产品结构有限元力学分析通用规则》；

ASTM 标准：D 3039/D 3039M-00 Standard Test method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials；

ASTM 标准：D 3410/D 3410M-03 Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composites Materials with shear loaded unsupported working segments.

ASTM 标准：D 3518/D 3518M-94 Standard Test Method for In-Plane Shear Response of Polymer Matrix Composite Materials by Tensile Test of a $\pm 45^\circ$ laminate；

C-NCAP 《中国新车评价规程》；

RCAR；

3 术语和定义

本规范所规定的术语和定义用于连续碳纤维复合材料前保险杠防撞梁（以下称“前防撞梁”）设计，考虑到它们对主管部门、制造厂商和用户具有实用价值，特规定下列定义。

3.1 前保险杠防撞梁

汽车前保险杠防撞梁是吸收碰撞能量，减轻汽车发生碰撞时乘客舱损伤的一种装置。当汽车与其他车辆或者障碍物发生低速碰撞时，防撞梁应保护散热器、发动机和纵梁等重要部件，降低维修成本；当汽车与其他车辆或者障碍物发生正面和偏置高速碰撞时，防撞梁应弯曲变形吸能，减轻车

身变形；当汽车与行人发生碰撞时，最大限度地保护行人安全。

3.2 碳纤维复合材料

碳纤维复合材料以连续碳纤维或碳纤维织物为增强体，以树脂、陶瓷、金属等为基体所形成的一种新型复合材料，碳纤维复合材料性能是由纤维和基体共同决定。

3.3 最大吸能量

作为前防撞梁碰撞性能指标之一，最大吸能量指的是在碰撞开始直到相应的结构件通过弹性变形和塑性变形所吸收的最大能量值，即结构通过变形将承受的冲击能量转化为内能，吸收的能量越大越好，可以有效保护后面的乘员舱结构。本标准规定最大吸能量阈值为大于等于 400J。

3.4 吸能盒截面碰撞力峰值

作为前防撞梁碰撞性能指标之一，碰撞力的作用主要是指从前防撞梁到前纵梁甚至是乘员舱结构的传递力大小，可以反映对行人腿部的伤害程度。因此截面碰撞力峰值越小越好，并且峰值越小，碰撞加速度也越小，对乘员舱内的乘客上伤害也可以减小。本标准规定吸能盒截面碰撞力峰值阈值为小于等于 20KN。

3.5 防撞梁最大侵入量

作为前防撞梁碰撞性能指标之一，防撞梁侵入量主要是表明防撞梁的变形大小，一般要求防撞梁不能与散热器和水箱发生接触，因此侵入量有一定的限度。本标准规定防撞梁最大侵入量阈值为小于等于 90mm。

3.6 铺层相容性

作为铺层工艺要求之一，应满足各铺层区域中最薄模块铺层能最大限度地提高全域共享铺层。

3.7 失效位移

作为前防撞梁静态三点弯曲性能指标之一，为静态三点弯曲试验防撞梁失效时刻压头下压位移。本标准规定防撞梁失效位移大于等于 30mm。

3.8 失效支反力

作为前防撞梁静态三点弯曲性能指标之一，为静态三点弯曲试验防撞梁失效时刻防撞梁支反力。本标准规定防撞梁失效支反力大于等于 15KN。

4 技术要求

按照国家标准 GB 17354-1998 《汽车前后端保护装置》进行前防撞梁设计时，考虑了汽车前端结构的抗撞性评价指标如前端结构最大吸能量、防撞梁最大侵入量、吸能盒截面碰撞力峰值。在防撞梁设计完成后，按照 C-NCAP《中国新车评价规程》进行高速正面碰撞和偏置碰撞性能验证；按照国家标准 GB 24550-2009 《汽车对行人的碰撞保护》进行行人保护性能验证。

5 设计方法

5.1 前保险杠防撞梁有限元建模及验证

5.1.1 网格划分

防撞梁设计时对乘用车前端结构进行网格划分，主要用四边形壳单元、三角形壳单元、焊点单元、刚性单元等单元来模拟。防撞梁网格质量控制依据国家标准 GB/T 33582-2017《机械产品结构有限元力学分析通用规则》。其中低速碰撞器模型采用单元尺寸为 20mm 的实体单元，汽车前端结构采用单元尺寸为 5mm 的壳单元网格；为表征防撞梁的侵入量变化过程，引入弹簧单元。

5.1.2 材料属性

根据乘用车前端结构各零件材料特性参数，输入单元的材料属性，包括密度、泊松比、弹性模量、剪切模量、材料的本构关系等。车用碳纤维复合材料主要以树脂基复合材料为主，如采用 5205 环氧树脂基体，碳纤维采用 T300。其中，对于碳纤维复合材料性能参数的测量采用 ASTM 标准，具体如下：

1) 按照 ASTM 标准：D3039-14 美国材料性能试验标准，测出碳纤维复合材料的拉伸强度、弹性模量、泊松比等参数（纤维平行方向和垂直方向），该试验方法适用于高模量纤维增强的聚合物基复合材料的面内拉伸性能；

2) 按照 ASTM 标准：D 3518/D 3518M-94 美国材料性能试验标准，测出碳纤维复合材料的剪切弹性模量、剪切强度等参数，该试验方法适用于高模量纤维增强聚合物基复合材料的面内剪切性能；

3) 按照 ASTM 标准：D 3410/D 3410M-03 国材料性能试验标准，测出碳纤维复合材料的压缩强度等参数（纤维平行方向和垂直方向），该试验方法适用于高模量纤维增强的聚合物基复合材料的面内压缩性能。

5.1.3 边界条件设置

按照国家标准 GB 17354-1998 《汽车前后端保护装置》规定：

- 1) 有限元模型在碰撞方向即 X 轴方向只约束转动，Y、Z 方向平动和转动都约束；
- 2) 碰撞器的有效质量应与实车的整备质量相同，并赋予整车的质心坐标和惯性矩；
- 3) 为了模拟现实的碰撞环境工况，需要考虑滚动摩擦。

5.1.4 模型验证

按照国家标准 GB 17354-1998 《汽车前后端保护装置》，进行轿车前端结构正面低速碰撞仿真分析，提取前端结构评价指标，如前端结构最大吸能量、防撞梁最大侵入量、吸能盒截面碰撞力峰值，并通过实车的碰撞试验进行验证。

5.3 碳纤维复合材料前保险杠防撞梁设计方法

本规范推荐的方法主要对防撞梁进行铺层结构设计，防撞梁截面设计建议可在本方法前进行设计，推荐使用方法有正交试验设计方法等。

碳纤维复合材料前保险杠防撞梁设计时，不仅要考虑性能指标还需要考虑防撞梁的可加工制造性，即其设计方案必须满足以下碳纤维复合材料铺层工艺要求：

- 1) 对称均衡性约束：层合板铺层关于其中面对称；
- 2) 表面铺层约束：表面铺层必须连续；
- 3) 相邻层数约束：铺层相邻区域最大层数不超过 4 层；
- 4) 铺层数连续性约束：相同铺向角的连续铺层数不超过 3 层；
- 5) 铺层相容性原则：各铺层区域中最薄模块应最大限度地提高全域共享铺层的数目。

本规范推荐的设计方法在满足以上四条约束的基础上，考虑了碳纤维前保险杠防撞梁的铺层相容性，在设计过程中可以处理铺层工艺约束。

本规范推荐的方法主要内容为首先对防撞梁进行铺层区域划分，可根据工程经验完成铺层区域划分，建议铺层区域不宜过多，3-5 个铺层区域即可；其次，完成铺层厚度的单因素分析，确定铺层厚度的上下限；在铺层厚度空间内对各个铺层厚度同时进行铺层顺序的多目标优化，实现变铺层厚度下铺层顺序的多目标优化，完成各铺层厚度下的铺层相容性设计；最后，对各铺层区域的铺层厚度采用正交试验设计，确定各铺层区域最优铺层厚度，实现各铺层区域的铺层相容性设计，完成碳纤维复合材料前保险杠防撞梁的设计。该方法的设计流程图如图 5.1 所示。

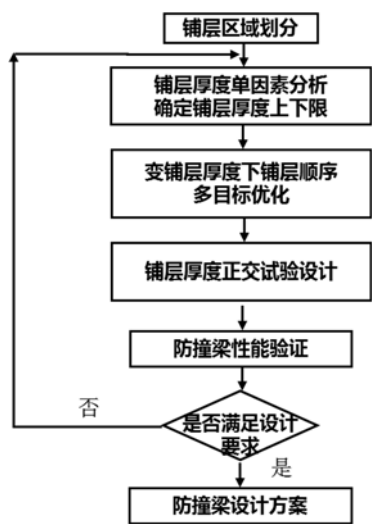


图 5.1 碳纤维复合材料保险杠防撞梁设计方法流程

5.3.1 确定铺层厚度上下限

根据工程经验选取多个铺层厚度，并在每个铺层厚度下选取多个常用的铺层顺序进行碳纤维防撞梁低速正碰仿真，提取各个性能指标，依据性能指标确定铺层厚度上下限。其上下限确定方法为

存在有某一性能指标在多个铺层结构(铺层结构这里指铺层厚度相同,但铺层顺序不同)下均不满足给定阈值时的铺层厚度。推荐铺层厚度上下限采用单因素分析法。

5.3.2 变铺层厚度下铺层顺序的多目标优化

- 1) 目标函数: 各铺层厚度下防撞梁峰值力均最小;
- 2) 约束函数: 防撞梁吸能量满足给定阈值、防撞梁侵入量满足给定阈值以及铺层工艺约束函数;
- 3) 设计变量: 最大铺层厚度下各铺层顺序的铺层角度, 即为 0° 、 45° 、 -45° 以及 90° 。

铺层相容性处理即包含在铺层工艺约束内, 这里举例说明, 若铺层厚度优化空间为 8 层、6 层以及 4 层, 且 8 层铺层厚度下铺层顺序为 $(x_1, x_2, x_3, x_4)_s$, 则 6 层铺层厚度下铺层顺序可能为 $(x_1, x_2, x_3)_s$ 、 $(x_1, x_2, x_4)_s$ 、 $(x_1, x_3, x_4)_s$; 若 6 层铺层厚度 $(x_1, x_2, x_3)_s$ 下, 4 层铺层厚度各铺层顺序为 $(x_1, x_2)_s$ 、 $(x_1, x_3)_s$, 各铺层厚度下铺层顺序共计有 6 种组合方式。该处理即可以使得最薄的铺层区域的铺层在整个铺层区域内完全共享。本次优化的最终目的为找到一组各厚度下最优铺层顺序的组合方式, 实现了各铺层厚度下铺层相容性设计。本轮优化可使用各类优化算法去求解, 本规范推荐使用多岛遗传算法。

5.3.3 铺层厚度正交试验设计

- 1) 正交试验因素: 碳纤维防撞梁各铺层区域;
- 2) 正交试验各因素水平: 各铺层厚度, 厚度信息包含该厚度下最优铺层顺序;
- 3) 正交试验各性能指标: 防撞梁质量、防撞梁峰值力、防撞梁吸能量、防撞梁侵入量。

由于本次正交试验考察多个性能指标, 本规范推荐使用综合平衡法分析正交试验表。分析完成后得到各铺层区域内最优铺层结构。本轮优化可实现各铺层区域铺层相容性设计、且设计方案满足性能指标。

5.4 碳纤维复合材料防撞梁性能仿真评价

按照国家标准 GB 17354-1998 《汽车前后端保护装置》, 输入优化后铺层结构参数并进行防撞梁正面低速碰撞仿真分析, 提取其评价指标, 如前端结构最大吸能量、防撞梁最大侵入量、吸能盒截面碰撞力峰值, 其指标应满足标准规定的阈值要求且与优化后的性能指标偏差在 $\pm 20\%$ 之内, 若不满足要求, 则应重新进行考虑铺层相容性设计, 重新按照国家标准 GB 17354-1998 《汽车前后端保护装置》进行碰撞分析和比较, 直到满足性能指标。

输入优化后铺层结构参数并进行如下仿真分析, 包括防撞梁静态三点弯曲仿真分析、按照标准 C-NCAP 《中国新车评价规程》进行高速正碰仿真和高速偏置碰撞仿真分析、按照国家标准 GB 24550-2009 《汽车对行人的碰撞保护》进行行人碰撞保护仿真分析、如有出口需要按照标准 RCAR 进行低速正面碰仿真分析, 提取其评价指标如失效位移、失效支反力、前端结构最大吸能量、防撞

梁最大侵入量、吸能盒截面碰撞力峰值。其指标应满足标准规定的阈值要求，若不满足要求，则应重新进行考虑铺层相容性设计，重新按照国家标准GB 17354-1998 《汽车前后端保护装置》进行碰撞分析和比较，直到满足性能指标。

5.5 前防撞梁试验样件研制

碳纤维材料工艺制造方法多样，对于连续碳纤维复合材料前防撞梁，本规范推荐采用模压工艺对优化后前防撞梁结构进行加工制造。其前防撞梁加工结果满足要求如表 5.1 所示。若满足工艺成品要求，则可进行试验验证，若不满足工艺成品要求，则需重新加工碳纤维复合材料前防撞梁。

表 5.1 防撞梁工艺成品要求

缺陷名称	外表面允许值	内表面允许值
气泡	不允许	每 0.15m ² 内允许存在一个1.0mm ² 以下的气泡
划痕	不允许	
凹坑	凹坑高度小于0.1mm	凹坑高度小于0.5mm

5.6 碳纤维复合材料防撞梁试验情况及验证

5.6.1 低速正碰试验验证

按照国家标准 GB 17354-1998 《汽车前后端保护装置》，将碳纤维复合材料防撞梁样品装车后进行正面低速实车碰撞试验，提取其评价指标如前防撞梁最大吸能量、最大侵入量、吸能盒截面碰撞力峰值。其评价指标应满足标准规定的阈值要求。

5.6.2 静态三点弯曲试验验证

依据防撞梁实际工况，固定防撞梁与吸能盒内侧连接部分，推荐以 2mm/min 的工况完成静态三点弯曲试验，提取其评价指标如失效位移、失效支反力。其指标应满足标准规定的阈值要求。

5.6.3 高速正碰试验验证

按照 C-NCAP 《中国新车评价规程》，将碳纤维复合材料防撞梁样品装车后进行正面高速实车碰撞试验，提取其评价指标如前防撞梁最大吸能量、最大侵入量。其评价指标应满足标准规定的阈值要求。

5.6.4 高速偏置碰撞试验验证

按照 C-NCAP 《中国新车评价规程》，将碳纤维复合材料防撞梁样品装车后进行高速 40%偏置碰撞实车碰撞试验，提取其评价指标如前防撞梁最大吸能量、最大侵入量。其评价指标应满足标准规定的阈值要求。

5.6.5 行人碰撞保护试验验证

按照国家标准 GB 24550-2009 《汽车对行人的碰撞保护》，将碳纤维复合材料防撞梁样品装车

后进行实车碰撞试验，提取其评价指标如前防撞梁最大吸能量。其评价指标应满足标准规定的阈值要求。

5.6.6 RCAR 低速正面碰撞试验验证

如有出口需要，按照国际标准 RCAR 将碳纤维复合材料防撞梁样品装车后进行实车低速正面碰撞试验，提取其评价指标如前防撞梁最大吸能量、最大侵入量、吸能盒截面碰撞力峰值。其评价指标应满足标准规定的阈值要求。