

本文通过对某车型制动及加速踏板的有限元计算,分析了其在极限载荷作用下的强度、刚度情况,根据结果提出了局部结构修改意见,同时,介绍了工程中静强度分析的一些基本方法。

□ 奇瑞商用车(安徽)有限公司 孙传利 宋玉波

有限元方法在制动及加速踏板静强度分析中的应用

在有限元技术中,静强度分析作为一种基础性的、成熟的技术,是深入进行其他有限元分析的必经阶段,在众多行业中有着广泛的应用,因而做好静强度分析非常重要。在汽车工程开发过程中,分析模型一般都比较复杂,前期处理的工作量比较大,在静强度分析中,在保证分析可靠性的前提下,如果能注意以下几个方面的问题,对分析工作可以起到很好的减负作用。

1) 静强度分析模拟的是结构某时刻的状态(一般指最危险的状态),而不是一个过程。某些结构(如弹簧)可以用作用力表示,某些力可以用位移或约束代替。

2) 静强度分析的主要任务是校核结构能否满足强度要求,而设计人员在结构的设计中一般都偏向于保守,对结构的薄弱之处也较为了解,一般情况下结构是能满足强度要求的。因此,静强度分析要抓主要因素,放次要因素,即抓大放小,小的局部特征(如倒角)可以放,某些局部结构也可以放。

3) 当外部的激励频率小于结构固有频率的 1/3 时,可以将动力学问题简化为准静态问题来分析,一般而言,大部分问题都可以按照准静态来处理。

本文以某车型制动及加速踏板强度分析为例,说明以上几点在静强度分析中的应用。

数模简化

由如图 1 所示的数模可知,由于固定约束位置较多,限制了作用力在制动踏板和加速踏板之间的传递;作用在加速踏板和制动踏板上的作用力不能

同时施加在实体模型中(不能既踩驻车踏板,又踩加速踏板)。因此,可将制动踏板和加速踏板结构分开做有限元分析,以减少工作量。同时,在整个结构中主要关心制动踏板臂与加速踏板底座两个区域的强度。在分析趋于保守的情况下,可对制动踏板和加速踏板结构进行进一步简化,具体简化见有限元模型。

制动踏板有限元分析

1. 制动踏板有限元模型简化

通过对制动踏板结构的分析,简化后的有限元模型如图 2 所示。材料为 Q235,在实体模型中,两块钢板焊接在转动轴的外套筒上(两块钢板本身也有部分焊接),当踏板受力时,两块钢板将绕轴心同幅度转动。

2. 制动踏板有限元分析结果

根据计算条件:制动踏板在操纵方向上,正常踏板力:120 N 左右,最大踏板力:2 000 N,主要计算两种载荷工况,分析结果如图 3 ~ 图 5 所示。

3. 制动踏板有限元分析结果讨论

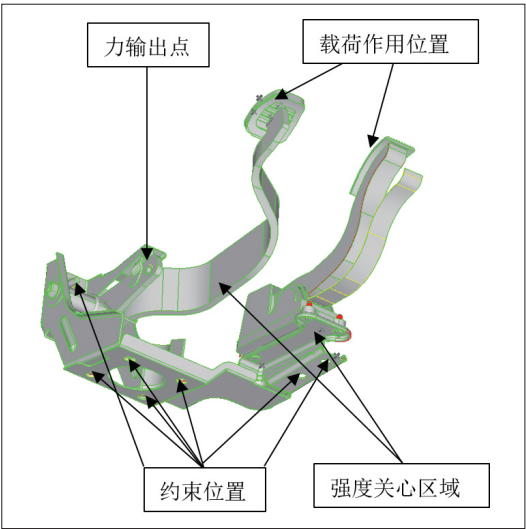


图 1 制动及加速踏板实体结构

1) 在最大 2 000 N 踏板力作用下, 图 3 应力结果表明: 此结构大部分区域应力在 246 ~ 688 MPa 之间, 超过了材料 Q235 的屈服强度, 表明发生了塑性变形, 在最大应力区域, 由于受弯矩和扭矩的作用, 此区域最为薄弱。

2) 最大踏板力 2 000 N 作用下, 图 4 竖直位移结果表明: 沿竖直方向的最大位移为 14.4 mm, 此位移由两部分组成——结构协调位移(在弹性

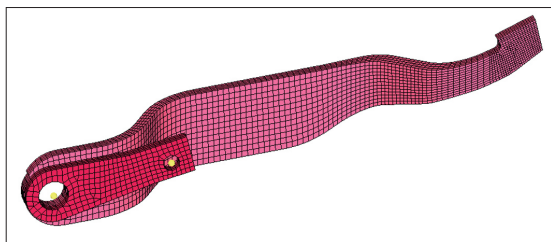


图 2 制动踏板结构有限元模型



图 3 制动踏板 2 000 N 作用应力分布

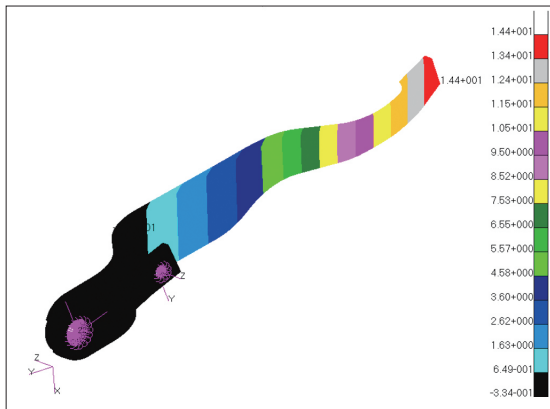


图 4 制动踏板 2 000 N 作用力竖直方向位移分布

力学问题一系列方程组求解过程中, 最后需要满足位移协调方程, “结构协调位移”借用了此概念)和局部形变位移, 在分析材料是否发生断裂破坏时, 需要排除结构协调位移的影响。因此, 主要对制动踏板破坏情况提供一个参考。

3) 根据能量守恒原理, 在静力状态下, 外力做功要等于系统吸收的应变能, 由整个制动踏板结构吸收的能量, 在有限元分析中仅由制动脚踏板来吸收, 必将增大制动踏板的变形量。实际应力分布情况要比有限元计算应力分布结果理想。

加速踏板有限元分析

1. 加速踏板简化模型

加速踏板结构有限元模型如图 6 所示, 在有限元模型中加速

踏板采用六面体网格划分, 底座采用四边形壳单元划分, 螺栓联接处使用 reb2 处理。底座材料为 Q235, 厚度为 2 mm, 其余结构材料为尼龙 6/6。

2. 加速踏板有限元分析结果

根据申请方提供的计算条件: 加速踏板: 在操纵方向上最大作用力 200 N, 转化成均布压力大小为 0.121 MPa, 分析结果如图 7 ~ 图 9 所示。

3. 加速踏板有限元分析结果讨论

1) 图 7 表明, 在最大踏板力 200 N 作用下, 加速踏板在强度上是安全的, 但由于有限元模型与实物模型有较大差距, 不是强度关心的区域, 在有限元计算中加速踏板主要起力传递作用, 对实际结构进行了简化, 因而对其强度不作过多分析。

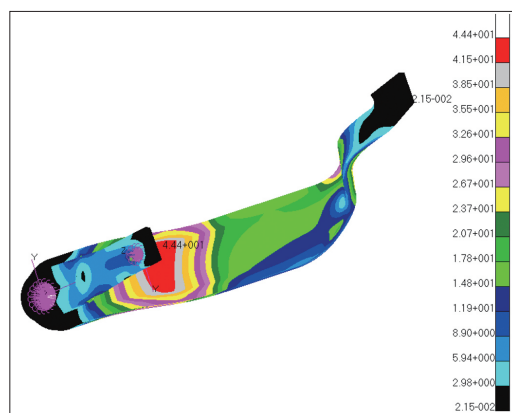


图 5 制动踏板 120 N 作用力应力分布

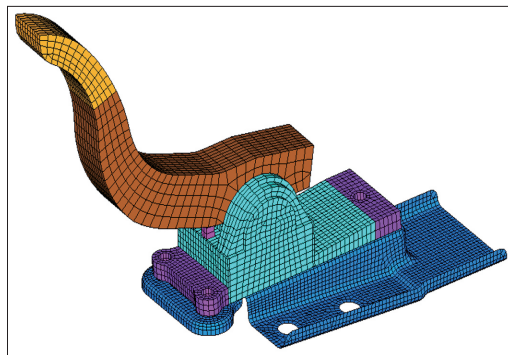


图 6 加速踏板结构有限元模型

2) 图 8 表明, 在最大踏板力 200 N 作用下, 沿作用力方向的最大位移为 9.5 mm, 由于此位移由两部分组成——结构协调位移和局部形变位移, 在分析材料是否发生断裂时, 需要排除结构协调位移的影响, 因此, 主要对加速踏板破坏情况提供一个参考。

3) 从图 9 可以看到, 有 3 个区域由于应力集中造成了底板结构的高应力, 其

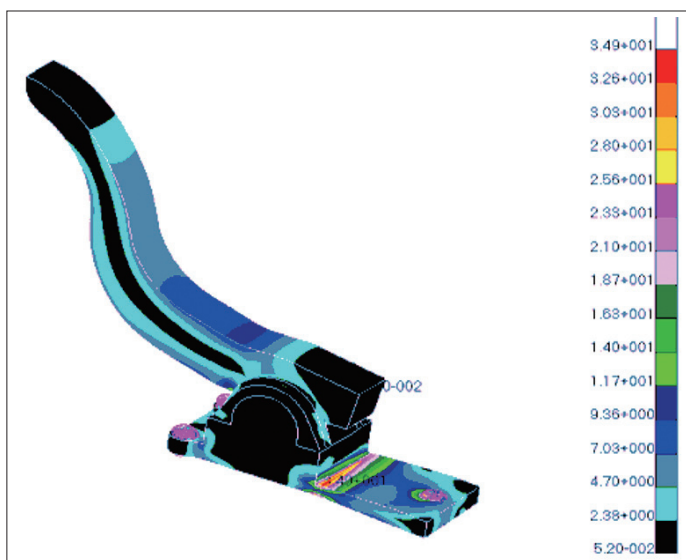


图7 加速踏板 200 N 作用力应力分布

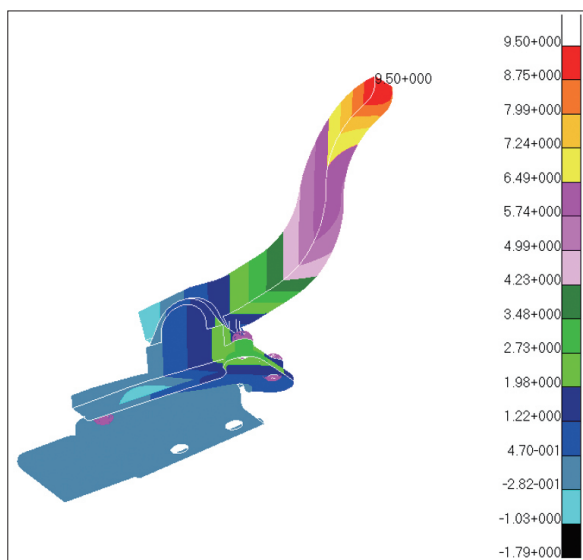


图8 加速踏板沿 200 N 作用力方向位移分布

中 B 和 C 区域是由于采用 reb2 时只耦合了一圈节点产生的圆孔周围应力集中, 实际情况中并不会出现。因而, 可以忽视 B 和 C 区域的应力水平, 而 A 区域的应力集中则是由于结构上的问题造成的。在 A 区域实际上是形成了一个缺口, 在 200 N 作用力下, 极易受力矩而产生应力集中, 消除此缺口后重新计算局部有限元模型。

4. 底座局部结构修改后加速踏板有限元分析结果讨论

1) 局部结构修改后, 加速踏板的应力分布及大小与图 7 相比几乎完全相同, 说明加速踏板的形变量没有太大的变化, 而作用力方向最大位移与图 8 中作用力方向最大位移小了近 1 mm, 主要是结构协调位移的减小, 与形变位移无关。

2) B 区域和前面分析一样, 可以不考虑, 在 C 区域应力集中区域发生了偏移, 因而, 不能忽视此处的应力水平, A 区域部分是由于直角造成的应力集中, 通过倒圆角可部分消除, 但是由

于 A 和 C 区域在一个比较大的范围内应力在 287 ~ 574 MPa 之间, 超过了材料的屈服强度 235 MPa。因此, 建议对底板结构进行进一步改进。

5. 底座局部结构进一步改进的有限元结果分析

对加速踏板底板结构提供两种解决方案: 一是将底板厚度增加为 3 mm; 二是将底板悬空部分自由边焊接到车身上。两种方案的分析结果如下:

1) 由于底板刚度增大, 作用力方向的位移值进一步减小, 最大值为 6.67 mm。

2) 除掉应力集中, 在 A、C 两个区域, 应力值减小, 主要集中在 170 ~ 238 MPa 之间, 能满足强度要求, 通过倒圆角可使 A 区域应力进一步减小。

3) 由于约束了底板自由边, 实际上增大了底板刚度, 作用力方向的位移值进一步减小, 最大值为 5.59 mm。

2) 除掉 B 区域的应力集中, 在 A、C 两个区域, 高应力基本消失, 能满足强度要求。

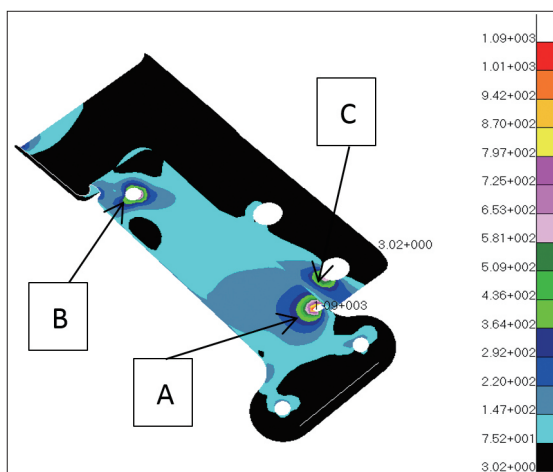


图9 加速踏板底座 200 N 作用力应力分布

结论

从实际的工作模型分析, 对底板进行局部的修改, 在最大力 200 N 作用下, 如果材料为 Q235 的底板发生较大的塑性变形, 那么材料为尼龙 6/6, 并且设置了安全断裂圆弧 (在有限元分析中未考虑) 的加速踏板, 会发生断裂。因此, 底板发生较大塑性变形的情况是不大可能的, 整个底板较高的应力水平主要是由于结构上的一个小缺口造成的。AI