

车身概念设计阶段 CAE 分析的肋筋等效模型

马 迅¹, 王 贺², 那景新²

(1. 湖北汽车工业学院 汽车系, 湖北 十堰 442002; 2. 吉林大学 汽车工程学院, 长春 130022)

摘要:提出了一种基于梁单元刚度等效原理的肋筋等效模型。通过详细模型和等效模型的对比分析,对等效模型的精度进行了修正,并设计了一组实验,验证了等效模型的合理性。为进一步改善概念设计阶段车身 CAE 的精度和有效性提供了重要参考。

关键词:车辆工程; 车身; 肋筋等效模型; 刚度等效原理; CAE

中图分类号:U463.82 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2009)06-1431-04

Rib equivalence model of CAE analysis in car body concept design phase

MA Xun¹, WANG He², NA Jing-xin²

(1. Department of Automobile, Hubei Automotive Industries Institute, Shiyan 442002, China; 2. College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: A rib equivalence model was proposed based on the equivalence theory of the beam element stiffness. Through a contrast analysis between the equivalence model and the traditional detailed model, the accuracy of the equivalence model was improved. A group of experiments was designed and performed to validate the equivalence model. The result provides a reference for the improving the accuracy and the effectiveness of CAE in the car body concept design phase.

Key words: vehicle engineering; car body; rib equivalence model; stiffness equivalence theory; CAE

为提高汽车车身结构强度、刚度、耐久性及安全性等各项性能指标,缩短开发周期,降低开发与制造成本^[1],在概念设计阶段引入 CAE 技术,对车身结构及主要构件的性能和成形工艺性进行预测、控制和优化有着非常重要的工程意义^[2]。国内外汽车界都对概念设计阶段的 CAE 分析及性能控制技术进行多方面研究和探索^[3]。提出了基于简化框架和板壳单元结合的简化分析模型,进行性能研究及结构优化,并初步形成分析流程和方法^[4]。但由于概念设计阶段不能提供结构的许多细节信息,因而该阶段 CAE 分析在精度方面还有一些问题没有得到很好的解决,使其对设计

的指导效果受到一定影响^[5]。其中前围、后围及地板等二维构件的等效建模就是影响分析精度的关键问题之一^[6]。现有的概念设计阶段 CAE 分析,通常将前围、后围及地板等二维构件简化成一个简单的壳结构^[7],忽略了构件上的加强肋筋等局部形状的影响,使模型的强度和刚度与实际构件有较大偏差,严重影响了 CAE 分析的精度^[8]。

针对此问题,本文提出了一种基于等效刚度原理的简化肋筋等效模型,在基本不影响计算效率的情况下,使概念设计阶段 CAE 分析结果的精度得到了显著改善。

收稿日期:2008-06-02.

基金项目:“863”国家高技术研究发展计划项目(2006AA110104).

作者简介:马迅(1966-),女,副教授,研究方向:机械与汽车结构的性能仿真分析. E-mail:xunma9252@126.com

通信作者:那景新(1957-),男,教授,研究方向:汽车车身结构轻量化设计. E-mail:najx@jlu.edu.cn

1 等效模型的基本原理

1.1 加强筋的梁单元等效原理

带加强筋的板可以看成由三部分组成,中间筋的部分可以看作是一个开口截面的梁,而筋两侧的部分看作是板,其截面示意图如图 1 所示。

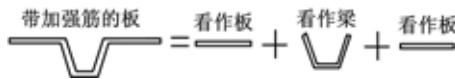


图 1 加强筋等效原理示意图

Fig. 1 The equivalent principle on the rib

本文的等效方法第一步是先把带加强筋的二维板件按无筋的平板方式建立其模型,然后将加强筋用与其截面形状相同的梁单元模型来表示。最后将此梁单元模型并联在平板上加强筋的位置,其示意图如图 2 所示,其中图 2(b)中板中间的点为梁单元模型的截面。

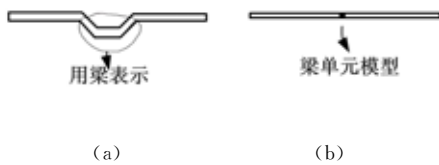


图 2 加强筋梁单元模型示意图

Fig. 2 The beam model for simulating the rib

这样处理后,可以看出等效前后的一点区别,即在筋的位置,实际筋的截面的形状是开口的,而等效后在筋位置处的平板是连续的,很直观地看出在原开口处多了一块板,即加强筋位置处的那段平板,设其为 P 。

为了使等效后筋位置处与实际一致,本文采用了一种等效的处理方式,即下面所述本文的等效方法第二步。

1.2 截面参数等效算法

按通常方法考虑,将 P 从模型中去掉就与实际保持一致了。但这样处理涉及到梁单元与板单元连接处理等问题,会大大增加建模的工作量。本文从另一个角度考虑,不需要将 P 从模型中去掉,而是通过修正梁单元模型的截面参数,从该位置的截面参数中减去 P 的截面参数,这样就等效地消除了 P 的影响。这种修正不需要改变梁的截面形状,直接从软件中打开梁属性的界面,即可对各项参数进行修正。

因为加强筋对板的弯曲刚度贡献较大,所以主要修正的截面参数为横截面积和两个方向的弯曲惯性矩。为了叙述方便,以截面各项参数中的

横截面积为例,设实际筋的横截面积为 A_s ,梁单元模型的横截面积为 A_l , P 的横截面积为 A_p ,筋位置处整个的横截面积为 A_j ,这里 $A_s = A_l$ 。

将梁单元模型并联到平板上后,与实际相比,在筋位置处多了 P 。所以此时筋位置处的横截面积

$$A_j = A_l + A_p \quad (1)$$

A_j 比实际的 A_s 多了一个 A_p 。本文采取的方法是修正梁单元模型的横截面积 A_l ,从 A_l 中将 A_p 减去,设修正后的梁单元模型的横截面积为 A_{lx} ,则

$$A_{lx} = A_l - A_p \quad (2)$$

在修正梁单元模型的横截面积后, A_j 此时变成了 $A_{lx} + A_p$,而 $A_{lx} = A_l - A_p$,所以:

$$A_j = A_{lx} + A_p = (A_l - A_p) + A_p = A_l = A_s \quad (3)$$

如图 3 所示。即筋位置处的横截面积参数与实际保持了一致。

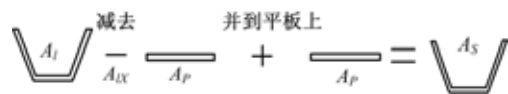


图 3 截面参数修正示意图

Fig. 3 The method for correcting the section parameters

同理,对该处关于 y, z 两个方向的惯性矩进行了修正,以 y 方向为例:设梁单元模型关于 y 方向的惯性矩为 I_l , P 关于 y 方向的惯性矩为 I_p ,修正后该处关于 y 方向的惯性矩为 I_{lx} ,计算公式为

$$I_{lx} = I_l - I_p \quad (4)$$

关于 z 方向的惯性矩计算方法与上述相同。

通过这种方法,不需将 P 从模型中去掉,通过修正梁单元模型的截面参数,可等效消除 P 的影响。

在修正截面参数之后,关于模型等效前后的一致程度,加强筋的尺寸对等效前后的影响等,还需要进一步分析。

2 等效模型的精度分析与参数修正

为分析等效模型的精度,本文分别建立平板模型、中间带加强筋的模型和加强筋用梁单元模型等效的模型,3 个模型依次如图 4(a)(b)(c)所示。模型一端进行全约束,另一端沿垂直与板方向均匀加载。

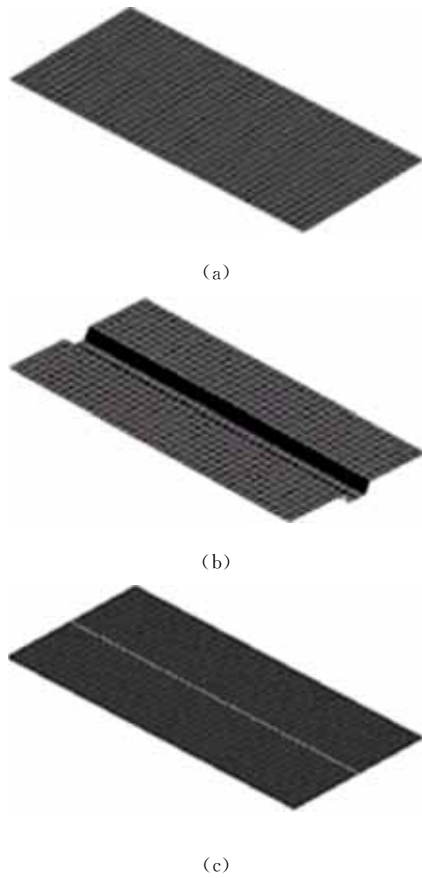


图 4 3 种模型示意图
Fig. 4 Three models

经过分析发现,等效前后的刚度并不是完全一致的,根据筋尺寸的不同,等效前后刚度比也不同。进而通过大量分析,得到等效前后刚度比与筋尺寸间关系的规律:用本文所述的方法等效加强筋,实际带加强筋板刚度与用梁单元模型等效加强筋后板刚度的比值 M ,只与筋宽度(上下底平均值)与深度的比值 N 有关,并随其增大而增大。

设等效前后刚度比为 M ,设筋的上底(长度大的)长度为 a ,下底(长度短的)长度为 b ,深度为 h ,筋宽度(上下底平均值)与深度的比值为 N ,即

$$N = \frac{\frac{a+b}{2}}{h} = \frac{a+b}{2h} \quad (5)$$

为了使等效后的结果与实际一致,继续对截面参数进行修正。因为刚度和弯曲惯性矩成正比,所以首先修正截面的弯曲惯性矩。因为筋的作用主要是加强沿筋方向的抗弯刚度,所以修正等效并联梁截面关于 z 方向的弯曲惯性矩。采用的方法是将等效并联梁的弯曲惯性矩乘以一个修正系数,使等效前后板的弯曲刚度保持一致,也就是使 M 为 1,设此修正系数为 x 。通过对大量形

式筋的分析,得到了从筋尺寸求修正系数 x 的公式

$$x = \begin{cases} \frac{0.143(a+b)}{h} + 2.945, & 4 \leq h \leq 5 \\ \frac{0.143(a+b)}{h} - 0.397h + 4.902, & 5 < h < 8 \end{cases} \quad (6)$$

用上述的等效方法修正过等效梁的截面参数后,再将其关于 z 方向的弯曲惯性矩乘以修正系数 x (x 值由公式(6)计算出),就使等效前后刚度达到一致。

3 等效模型的试验验证

试验使用的模型为长 300 mm,宽 100 mm,厚 0.7 mm 的铁板,其弹性模量为 2.01×10^{11} Pa,泊松比为 0.25,密度为 7800 kg/m^3 ,屈服极限为 230 MPa。分别在其中间加工出 $30 \times 20 \times 4$, $30 \times 16 \times 8$ 和 $30 \times 12 \times 12$ (单位 mm)三种规格的加强筋,三种规格的试件依次如图 5 所示。将带有肋筋的平板一端悬置卡到试验台上,在悬置端加载荷,并记下加载后的位移,由此计算出板的弯曲刚度。之后建立与试验模型大小、厚度、材料参数一样的平板模型,在加强筋的位置按上述的等效方法用一根并联梁来等效加强筋,对模型施加与试验一样的边界条件,分别进行计算,仿真计算与试验测得的刚度的对比结果如表 1 所示。



图 5 试验模型

Fig. 5 Test models

表 1 仿真计算与实测刚度对比

Table 1 The stiffness by simulating compared to the test one

板上加强筋尺寸/mm	仿真模型计算的刚度/(N·mm ⁻¹)	试验测得的刚度/(N·mm ⁻¹)
30×20×4	4.497	4.973
30×16×8	23.437	25.021
30×12×12	59.523	56.180

通过表 1 可以看出,仿真模型计算的刚度与试验测得的刚度相差都在 10%以内,对模拟精度的改善效果比较明显。

4 结束语

提出了一种修正梁单元模型的截面参数的方式来等效加强筋的方法,并进行了精度分析与参数修正,给出了计算修正系数的公式。该模型对改善概念设计阶段车身 CAE 分析的精度有重要参考意义。

参考文献:

- [1] 徐志刚,吴锦. 汽车设计开发 CAE 应用三步曲[J]. 微型机与应用,2007,26(1):76-77.
Xu Zhi-gang,Wu Jin. The trilogy of CAE application for the development of automotive design[J]. Microcomputer & Its Application,2007,26(1):76-77.
- [2] Kuo E Y,Mehta P R. Reliability and quality of body concept CAE models for design direction studies[C] //SAE Paper,2006-01-1617.
- [3] Chang J Michael. Modelling and design for vehicle pitch and drop of body-on-frame vehicles[C]//SAE Paper,2005-01-0356.
- [4] 乔淑平,李卓森,黄金陵. 在概念设计阶段用 FEM 进行车身设计的研究[J]. 汽车技术,2000(4):6-8.
Qiao Shu-ping, Li Zhuo-sen, Huang Jin-ling. Study on car body design with FEM at the concept design stage[J]. Automobile Technology,2000(4):6-8.
- [5] 庄蔚敏,陈东平. 概念设计阶段轿车参数化分析模型及控制参数优化研究[J]. 汽车技术,2003(5):5-8.
Zhuang Wei-min, Chen Dong-ping. Study on passenger car parameterized analysis model and optimization of control parameters during concept design phase[J]. Automobile Technology,2003(5):5-8.
- [6] Powers J, Agrawal H, Perumalswami P. CAE prediction and test correlation for body sheet metal[C]//SAE Paper,2006-01-0828.
- [7] Wen J H. Optimization analysis in utility vehicle Golf car simulation[J]. SAE Paper,2006-01-3457.
- [8] 温志伟,陈江海. CAE 在汽车开发中的应用[J]. 中国水运:理论版,2007,5(8):149-150.
Wen Zhi-wei, Chen Jiang-hai. The application of CAE to development of automotive[J]. China Water Transport(Theory Edition),2007,5(8):149-150.