

农林车辆安全驾驶室碰撞的数值模拟

陈 龙, 王锦雯, 周孔亢

(江苏大学)

摘 要: 农林用车辆安全驾驶室碰撞系统具有几何非线性和材料非线性等多重非线性特点, 应用大变形弹塑性理论, 建立驾驶安全系统数学模型, 对安全驾驶室强度特性进行分析, 预估车辆翻车时驾驶室结构件的力—变形, 预测变形侵入驾驶员容身空间的安全性, 并进行变形的屈服评判, 实现车辆安全驾驶室结构碰撞的数值模拟。文中以某农林车辆安全驾驶室碰撞的数值模拟为例, 理论计算和试验结果吻合, 方法切实可行, 为车辆驾驶室安全设计提供依据。

关键词: 车辆; 安全性; 驾驶室; 数值模拟

中图分类号: 467. 1⁺ 4

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0120014204

安全驾驶室设计的核心是确保安全空间, 其强度特性是在保证安全空间的基础上, 保证结构完整性的同时, 允许结构塑性变形。众所周知, 当车辆发生翻车等意外事故时, 冲击能量通过驾驶室结构的变形吸能和耗散, 在一定的变形模式下, 车辆应能承受较大的撞击载荷, 最大限度地吸收能量, 使结构变形向有利于保护驾驶员空间的方向发展, 把传递给驾驶员的碰撞能量降低到最小。若变形侵入驾驶员容身空间, 则必危及到驾驶员生命。国际标准试验方法虽是鉴定驾驶室设计成功与否的有效技术方法, 但这是破坏性的, 需反复进行试验改进, 周期长, 耗资很大。因此, 在安全驾驶室设计阶段, 预估其受力及变形, 保证驾驶员的容身空间不受侵犯; 在结构不破坏, 不失去稳定性的基础上, 允许结构中某些部位出现塑性变形, 不仅表面而且允许整个截面都进入塑性状态, 以吸收更多的变形能, 从而充分发挥材料的潜力, 这些是摆在工程技术人员面前的重要课题。本文应用大变形弹塑性理论, 借助非线性有限元进行模拟计算, 分析安全驾驶室强度特性, 并对驾驶室结构某些部位进行屈服评判, 以选择所要求的刚度和弹性的最佳匹配。

1 安全驾驶室碰撞的模拟计算

1.1 安全驾驶室弹塑性分析模型及求解

结构产生非线性应变的情况有两种, 一种是材料非线性, 另一种是几何非线性, 车辆安全驾驶室结构作为主要的承载和吸能部件, 这种结构在碰撞过程中具有材料非线性及几何非线性等多重非线性应

变。所以, 如果把有限元应用于非线性问题, 可以得下列形式:

$$[K(\{u\})]\{u\} = \{R\} \quad (1)$$

式中刚度矩阵 $[K]$ 不是常数, 而是位移向量 u 的函数。式(1)可以作为超出弹性范围的安全驾驶室理论分析数学模型。

另一方面, 与材料非线性或几何非线性问题相类似, 弹塑性应变增量和应力增量之间的关系近似表达为

$$\{R\} = [D]_{ep} \{E\} \quad (2)$$

式中 $[D]_{ep}$ 为弹塑性矩阵。

如果把(1)式写成如下通式:

$$[K]_{n-1} \{u\}_n = \{R\}_n \quad (3)$$

$[K]_{n-1}$ 既是当时位移的函数, 又是当时应力的函数, 把所有的单元刚度矩阵按照通常的组合方法得到整体刚度矩阵 $[K]_0$, 求解平衡方程

$$[K]_0 \{u\}_1 = \{R\}_1 \quad (4)$$

求得 $\{u\}_1$, $\{E\}_1$, $\{R\}_1$, 由此得到经过第一次载荷增量后的位移、应变及应力的新水平

$$\begin{aligned} \{u\}_1 &= \{u\}_0 + \{u\}_1 \\ \{E\}_1 &= \{E\}_0 + \{E\}_1 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\{R\}_1 = \{R\}_0 + \{R\}_1$$

继续增加载荷重复上述计算, 直到全部载荷加完为止。最后得到的位移、应变和应力就是所要求的弹塑性应力分析结果。

1.2 某农林车辆安全驾驶室弹塑性有限元分析

1.2.1 安全驾驶室结构的简化

遵循有限元模型简化原则, 对驾驶室进行必要的简化, 去掉那些对强度和刚度影响不大的结构之后(如车门、顶篷等), 只剩下框架和机架以及侧板, 这样将骨架离散为 69 个梁单元和 66 个板壳单元,

收稿日期: 2001208206

作者简介: 陈 龙, 教授, 博士, 院长, 镇江市 江苏大学京江学院, 212013

共 135 个单元, 69 个结点(如图 1)。

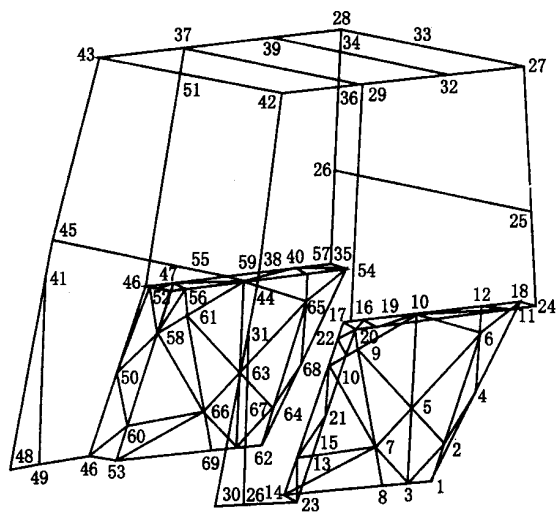


图 1 驾驶室骨架有限元模型

Fig 1 Finite element model of cab frame

1.2.2 计算工况及载荷

计算工况及载荷参照 ISO 3463, 1981 (C), ISO 5700, 1981 和 GB 7121, 86 等标准所提供资料, 计算工况主要有后撞、后抗压、前撞击、侧撞击、前抗压, 对于前压、后压工况, 其压力是确定的, 而各撞击工况, 确定冲击载荷函数是求解其响应的关键。通常情况下, 将冲击载荷简化成立方抛物线脉冲函数来描述, 它较接近冲击载荷的实际情况(如图 2)。其表达式为

$$P(t) = \frac{(1 - 2K)P_0}{K^2(K - 1)^2}t^3 + \frac{(3K^2 - 1)KP_0}{K^2(K - 1)^2}t^2 + \frac{2K - 3K^2P_0}{K^2(K - 1)^2}t \tag{6}$$

式中 P_0 ——冲击力峰值; t ——冲击力持续时间, 从实验可知, t 约为 0.25 ~ 0.3 s; K ——出现峰值 P_0 的时刻与 t 之比值, K 约为 0.25 ~ 0.3。

则撞击时的冲击峰值 P_0 与摆锤落差 h 的近似关系为

$$P_0 = Q(1 + k)1m\sqrt{2gh\phi t} \tag{7}$$

表 1 侧撞、前撞工况计算和试验值

Table 1 The simulation and test results for side collision and front collision													M Pa
工 况		结 点											
		43	42	45	46	64	30	26	24	27	37	52	
侧撞	原结构	计算	- 587.2	189.0	228.3	324.1	143.5	225.0	324.0	351.5	354.5	—	113.9
		试验	- 347.3	202.7	205.7	286.9	130.2	178.3	246.5	314.2	310.8	—	111.9
	改进后	计算	- 302.5	150.6	200.6	303.5	135.2	210.2	310.5	342.6	341.7		102.5
		试验	- 295.2	212.3	- 97.9	- 289.7	193.0	141.9	120.8	225.0	—	50.2	—
前撞	原结构	计算	295.2	212.3	- 97.9	- 289.7	193.0	141.9	120.8	225.0	—	50.2	—
		试验	276.7	190.4	- 77.5	- 251.6	176.0	135.1	109.5	191.2	—	45.8	—
	改进后	计算	263.5	198.2	- 87.5	- 262.5	182.0	132.2	107.2	216.5	—	46.2	—

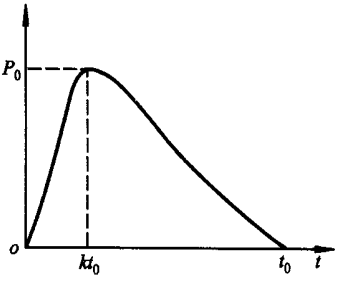


图 2 立方抛物线脉冲

Fig 2 Three-node impulse function

式中

$$Q = \frac{1}{\left[\frac{1 - 2K}{4K^2(K - 1)^2} + \frac{3K^2 - 1}{3K^2(1 - K^2)} + \frac{2K - 3K^2}{2K^2(1 - K^2)} \right]}$$

k ——碰撞恢复系数, 钢与钢碰撞 k 取 0.56。

根据上述模型, 采用式(1)~ 式(5)弹塑性问题的数值解法, 使用非线性结构分析通用程序, 在微机上进行求解, 得到的主要结果如表 1、表 2、图 3、图 4。

2 安全驾驶室强度试验

试验包括后撞、后抗压、前撞、侧撞击、前抗压 5 种工况, 它是模拟农林车辆向后面或向侧面翻车(悬空跌落除外)情况时作用在安全驾驶室上的载荷, 以此检验驾驶室及其构件等的强度, 并验证弹塑性理论计算的正确性。

撞击力是由高悬的摆直接撞击驾驶室前、后和侧面上横梁, 以模拟翻车事故时撞到地面的载荷。

压跨力是用机械式或液力式装置在驾驶室顶棚前、后、横梁上加压, 以模拟车辆翻倒事故时的压载荷。

应力的测量采用应变片测量法, 考虑到塑性变形, 选用 TA 12025AA 2C 应变片, 布片方案从略。试验结果如表 1~ 表 2。结果表明, 最大位移发生在侧撞工况, 结点 32 处位移达 97.20mm, 驾驶室从上

表 2 各工况最大变形

Table 2 The maximum deformation for all test items s

工 况	载荷 ökN	结 点	原结构		改进后计算值
			计算值	试验值	
后撞	45	33	$u(y) = -28.82$	-30.50	$u(y) = -21.73$
后压	40	27	$u(y) = -29.74$	-26.50	$u(y) = -23.52$
侧撞	40	32	$u(x) = -87.81$	-97.20	$u(x) = -50.25$
前撞	45	33	$u(y) = 52.93$	43.50	$u(y) = 40.76$
前压	40	42	$u(y) = 44.86$	38.50	$u(y) = 35.62$

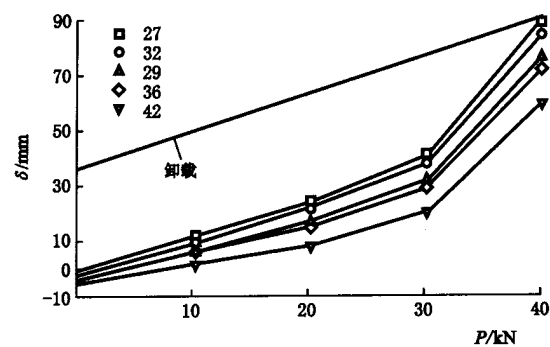


图 3 侧撞工况变形载荷曲线

Fig 3 The curves of displacement to load for side collision

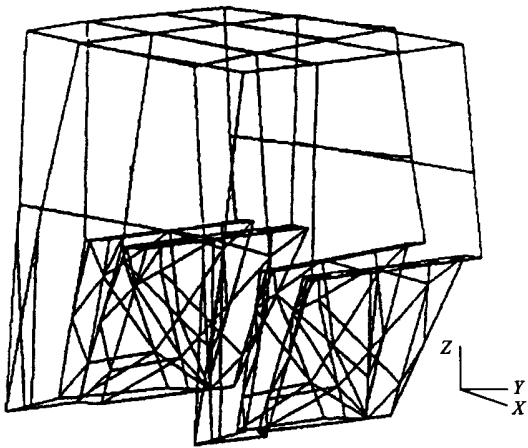


图 4 侧撞工况变形图

Fig 4 The deformation figure of side collision

到下, 变形梯度大, 受载后, 主要是上部变形或刚度小的部位吸功。由结点的变形随载荷变化关系可看出其非线性特性, 但变形后没有侵入容身空间。而最大应力点发生在中下部, 某些部位超过了屈服极限, 例如, 侧撞工况, 结点 43 处应力达 387.20 MPa, 结点 26 处应力达 324.00 MPa, 结点 24 处应力达 351.50 MPa。从应力随载荷变化的关系中也看出构件受载后应力的非线性特性, 这必将产生塑性铰, 它可以使静不定驾驶室骨架进行力矩重新分配, 进一步增加的载荷由结构中应力较低的部分承担, 形成更

多的塑性铰, 直至塑性铰数目足以使结构变成一个机构遭到破坏。很显然, 对安全驾驶室强度产生严重影响, 各工况的共同特点是在载荷达 20 000 N 之前, 安全驾驶室系统呈弹性状态, 线性度较好。载荷超过该值则呈非线性, 部分点进入塑性状态。就其安全驾驶室强度而言, 侧撞情况下的强度、刚度较差, 驾驶室侧撞试验第 20 结点附近出现开裂现象。因此, 应改善其抗侧撞工况下的强度、刚度和弹性。从安全角度看, 驾驶室变形后没有侵入容身空间, 计算和试验结果吻合, 同时也说明所建立的非线性有限元模型是合理和可靠的。

3 安全驾驶室构件屈服评判

驾驶室结构在受到冲击载荷后局部出现屈服, 并不表示驾驶室已经是不安全的, 正如前所述, 只要结构未破坏, 且未失去稳定性, 允许局部出现塑性变形, 以尽可能吸收变形能。由弹塑性理论知, 结构受力变形时, 随着载荷的增加, 依次经过弹性、弹塑性及完全塑性三阶段。因此, 对于驾驶室骨架受载变形的强度核心问题是确定弹性区域和塑性区域的分界以及屈服评判。

屈服系数 H 值法^[1] 是进行屈服评判的有效方法, 它反映了截面受到的载荷占材料完全进入塑性时所受载荷的比例。在研究非线性弹塑性问题时, 米赛斯准则是重要的理论基础, 米赛斯准则认为: 材料在复杂应力状态下的形状改变能达到了单向拉伸屈服时的形状改变能, 材料开始屈服。把构成平面应力空间的屈服面称为屈服函数, 达到屈服的点均在米赛斯准则下的屈服曲面上移动。对于驾驶室各构件, 梁的截面主要受拉压、弯、扭, 三种状态下的 H 值算法如下:

$$H = M / \bar{M}_p - 1 \quad (\text{纯弯}) \quad (8)$$

$$H = M / \bar{M}_p + (F / \bar{F}_p)^2 - 1 \quad (\text{拉、弯组合}) \quad (9)$$

$$H = (M_x / \bar{M}_{xp})^2 + (M_y / \bar{M}_{yp})^2 + (M_z / \bar{M}_{zp})^2 - 1 \quad (\text{弯扭组合}) \quad (10)$$

将 H 值计为 $H(i, j)$, i 为单元号, j 为结点号。式中 M 为截面所受弯矩, \bar{M}_p 为材料达到完全塑性时的弯矩, F 为截面所受轴向力, \bar{F}_p 为截面达到屈服时的轴向力, M_y, M_z 为 y, z 方向的弯矩, M_x 为绕 x 轴的扭矩, \bar{M}_{xp} 为纯扭时断面达到完全塑性的扭矩, $\bar{M}_{yp}, \bar{M}_{zp}$ 为纯弯时断面达到完全塑性的弯矩。

当 $H < 0$, 即任何应力状态在应力空间表现的一个点落在屈服曲面之内, 材料呈弹性状态; $H = 0$, 此点达到曲面之上, 材料开始进入塑性; $H > 0$, 材料完全进入塑性变形。

由式(8)、(9)、(10) 计算某农林车辆驾驶室单向

平面应力超过屈服极限的结点有 10 处, $H(9, 43) = 1.624$, $H(26, 37) = 0.402$, $H(11, 45) = 0.501$, $H(15, 38) = 0.498$, $H(17, 30) = 0.615$, $H(26, 44) = 0.031$, $H(20, 34) = 1.302$, $H(25, 20) = 1.468$, $H(23, 27) = 0.738$, $H(17, 26) = 0.725$ 。由此可见, 其塑性化程度比较严重, 产生的塑性点较多, 将会构成一定数量的塑性铰, 对安全驾驶室强度产生严重影响。但理论计算和试验都表明, 变形后并未侵入驾驶员容身空间。

4 驾驶室安全性结构设计

驾驶室是安全性设计中的关键总成, 在进行驾驶室设计时, 应预先设置一处或几处具有高吸能性的“弱点区”, 当发生翻车等意外事故时, 该区以一种可预见的形式发生断裂或破坏, 在一定程度内变形, 吸收冲击能量, 这样, 一方面可以缓冲碰撞, 另一方面有利于保证驾驶室主体空间。

因此, 根据前述驾驶室强度特性, 在进行驾驶室安全性结构设计时, 薄壁梁设计应保证单根梁贯通, 相邻梁构件要有重叠并焊牢, 即所谓生根牢靠(如图 5), 这样有利于使冲击负荷分散而不过分集中, 同时尽可能增大封闭梁断面面积, 对于门槛梁的外板设计, 必要时在梁内增加衬板结构。

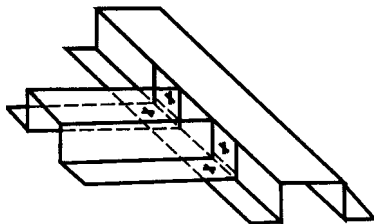


图 5 两梁相连接

Fig 5 The linking of the two frames

为提高抗侧撞安全性, 在驾驶室侧面偏上方易受撞击高度处(距顶梁 300 mm 处)布置一横梁, 则抗侧撞能力和分散冲击负荷的能力会更加明显, 这样, 施加到驾驶室上的冲击能量均得到有效的分散, 驾驶室本身即具有了较高的安全性。

5 结 论

1) 用非线性有限元实现对车辆安全驾驶室碰撞的数值模拟是一种行之有效的方法, 它可在设计阶段对驾驶室强度特性进行预估及评判。

2) 研究结果表明, 后压和前压工况的载荷较低, 结构仍处于线弹性范围内; 侧撞击产生的变形最大, 说明驾驶室侧向强度较低, 设计时应予以重视。

3) 驾驶室门框立柱上应力值均比较大, 驾驶室设计时, 应认真预估和评判, 以尽可能减少影响安全空间位置的塑性铰。

4) 应加强驾驶室安全性结构设计、人机工程学设计和部件的安全性设计研究, 努力使在一定变形模式下, 最大限度吸收能量。

[参 考 文 献]

- [1] 石川文武, 三浦恭志郎. 2 用安全 μ 1 2A の研究[第二报]——弹塑性解析と撞击应答[J]. 农业机械学会志, 1984, 46(3): 332~ 338
- [2] 王海霞, 汤文成等. CJ6121 GCHK 型客车车身骨架有限元建模及结果分析方法研究[J]. 汽车工程, 2001, 23(1): 33~ 36
- [3] 冯国胜. 客车车身结构的有限元分析[J]. 机械工程学报, 1999, 35(1).
- [4] 谢贻权, 何福保. 弹性和塑性力学中的有限元法[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987. 175~ 220

LA I and the red edge parameter. Then, the red edge was proved to be valuable for assessment of rice upper leaves chlorophyll contents. But a correlation was not found between chlorophyllB content of leaves or carotenoid and the wavelength of the red parameters. Some red edge parameters are one of the best remote sensing descriptors. The feasibility of using derivative spectra to measure some agronomic parameters is verified.

Key words: derivative spectrum; rice; agronomic parameter; red edge parameters

Numerical Simulation for Collision on Safe Cab of Farm-Forestry Vehicles (14)

Chen Long, Wang Jinwen, Zhou Kongkang (Jingjiang College, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The model of collision on safe cab of farm-forestry vehicles has multi-nonlinear features on geometry and material. The large-scale deformation elastic and plastic and plastic theories are applied by setting up the mathematical model for cab, the strength feature of it is analysed. The relation of force and deformation when vehicle rolled is predicted. The safety of driver's space ingressed by deformation of components of the cab is estimated, and the deformation failure is assessed. The numerical simulation for collision on safe cab of vehicle is realized. Based on a type of farm-forestry vehicle, simulations based on theory and experiment are conducted. Both results are basically coincident. This simulation model is practical and feasible, which can provide reference for safety design of vehicle cab.

Key words: vehicle; safety; cab; numerical simulation

Determining Sediment Concentration in Runoff Flow with C-Ray Attenuation and the Related Theoretical Algorithm (18)

Lei Tingwu^{1,2}, Zhao Jun¹, Yuan Jianping³, Wang Hui¹, Liu Qingkun⁴ (1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Faculty of Irrigation and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 3. Soil and Water Conservation Monitoring Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China; 4. School of Machinery Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: An attempt was made to use gamma-ray transmission method to measure sediment concentration in runoff. Two types of soils (silt loess and clay loess), three increments of sediment concentration (3%, 5% and 10%) and 3 sampling periods (6 s, 10 s, 20 s) were adopted for sediment measuring experiments, so as to validate the feasibilities of measuring sediment concentration with gamma-ray method and to determine the response of measured sediment concentration to different conditions. The theoretical algorithm was derived for determining sediment concentration with gamma-ray method. A simple relation of sediment concentration with gamma-ray readings was statistically given. Experimental data were used to verify the correctness of the theoretical equation and to check the consistency of the theoretical results with those from experiments. Results showed very good linear relationship between sediment concentrations and gamma-ray readings, as well as very good consistency between measured sediment concentrations and the theoretically computed values. The gamma-ray method can be used to determine sediment concentrations steadily, reliably and precisely.

Key words: sediment concentration measurement; penetration method by gamma-ray; runoff; penetration intensity; sampling period

Characteristics of Aquasorb and Its Application in Crop Production (22)

Huang Zhanbin¹, Zhang Guozhen², Li Yangyang¹, Hao Mingde¹, Meni Ben-Hur³, Deli Chen⁴ (1. The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, Agricultural Research Organization, Bet Dadan 50250 Israel; 4. Institute of Land and Food Resource, The University of Melbourne, Victoria 3010 Australia)

Abstract: Aquasorb is a kind of sodium-polymer with characteristic of absorbing and storing water. There are many types and varieties in commercial market. The purpose of this study is to determine the chemical features of sodium-polymer and its effect on soil improving, and to analyze the influence on crop yield and fertilizer use efficiency in farming field. The result showed that [Na⁺] and electronic conductivity (EC)