

基于 DOE 方法的 C-NCAP2021 后排座椅鞭打设计与优化

汤波
(诺创汽车科技(上海)有限公司 上海 201804)

摘要: 根据 C-NCAP2021 版规程, 后排座椅增加动态鞭打要求, 文章通过 DOE 方法来对后排座椅鞭打诸多影响因子进行排列组合, 通过 LS-Dyna 进行 CAE 模拟分析, 寻找对鞭打结果影响较大的因子, 优化相关部件设计, 达到后排座椅的鞭打设计目标。
关键词: C-NCAP2021; DOE; 鞭打; LS-DYNA

0 引言

C-NCAP2021 规程已经发布并将在 2022 年开始实施, 对于座椅总成来说, 最大的影响就是后排座椅增加了鞭打的要求。常规后排座椅采用高位锁的锁止形式, 靠背没有悬簧, 基本为管板结构, 并且有中间卷收器的影响, 导致假人的穿透量远小于前排。根据中汽研在行业论坛上的信息, 在中汽研的摸底试验中, 目前市场上量产项目的后排座椅鞭打得分大部分在 0.4 ~ 0.8 分, 得分率仅为 20% ~ 40%, 远低于前排的平均得分率 70% ~ 76%。因此如何提高正在研发中的项目后排座椅鞭打性能, 是国内外主机厂和供应商以及科研机构都非常关注的课题。文献通过对前后排乘客鞭打受到的伤害对比, 得出结论: 后排乘客受到的鞭打伤害风险比前排乘客更高; 后排女性乘客比男性乘客受到的鞭打伤害风险更高。

1 CAE 模型的建立

结合当前正在开发的一款后排座椅, 客户要求满足 C-NCAP2021 版的标准, 后排鞭打不低于 1.20 分, 开展后排座椅的鞭打分析和优化。后排座椅鞭打分析模型由如图 1 所示。

CAE 分析模型中主要部件信息如表 1 所示。

CAE 采用置 BioRID II 假人, 滑车速度为 20km/h。具体设置遵循《C-NCAP 管理规则(2021 年版)》。

2 DOE 矩阵

根据以往项目经验的 lesson learn 和专家研究, 跟后排鞭打性能相关因素如图 2 所示。

影响因子具体为:

- A- 头后间隙 backset
- B- 靠背锁支架材料和壁厚
- C- 靠背发泡硬度
- D- 头枕杆壁厚头枕骨架距 A 面距离

表 1 后排座椅部件信息

部件	说明
靠背骨架	管 + 板结构
中间安全带卷收器	固定在靠背上部
坐垫发泡	硬度定义 6KPa
靠背发泡	硬度定义 4.5KPa/5.5KPa
头枕	内部有支撑钢丝结构
安全带约束系统	无预紧

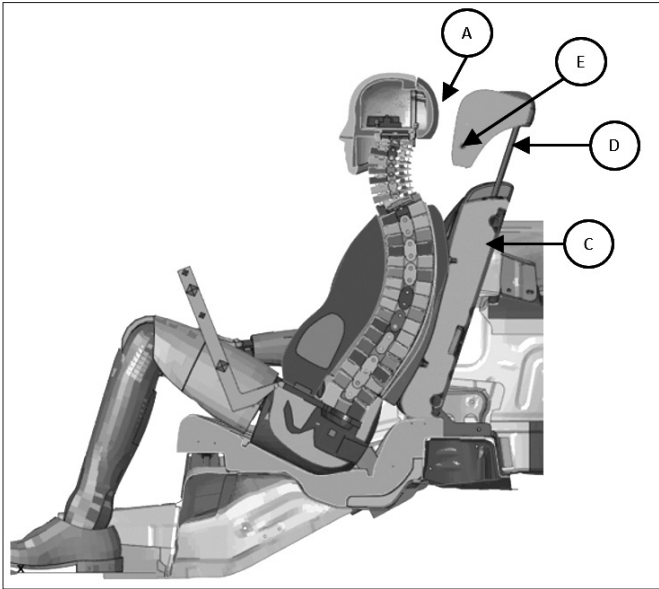


图 1 后排座椅鞭打模型

- E- 靠背管材料
- F- 靠背下固定点与中心面距离
- G- 靠背锁锁钩材料
- J- 卷收器距座椅中心面距离

共有 9 个因子, 每个因子设定两个水平, 通过 Minitab 软件, 可以生成因子矩阵 L16(29), 共组合成 16 种工况, 利用 CAE 分析软件 Ls-Dyna 对 16 种工况进行鞭打 CAE 分析, 所得的结果如表 2 所示。

3 结果分析与优化

由表 2 中的极差结果可以得到对鞭打得分影响最大的前 4 个因子分别是:

- A- 头后间隙, 极差 0.20
- D- 头枕杆壁厚, 极差 0.13
- E- 头枕骨架距 A 面距离, 极差 0.21
- J- 卷收器距中心面距离, 极差 0.21

其中原因如下:

A- 头后间隙直接影响到头部接触时间 T-HRC, 头后间隙越小, 头部与头枕接触时间越早, 头部的减速度曲线就会越早上升, 从而降低头枕减速度 HEAD-ACC 的峰值。

D- 头枕杆壁厚越大, 头枕的强度和刚性越大, 对头

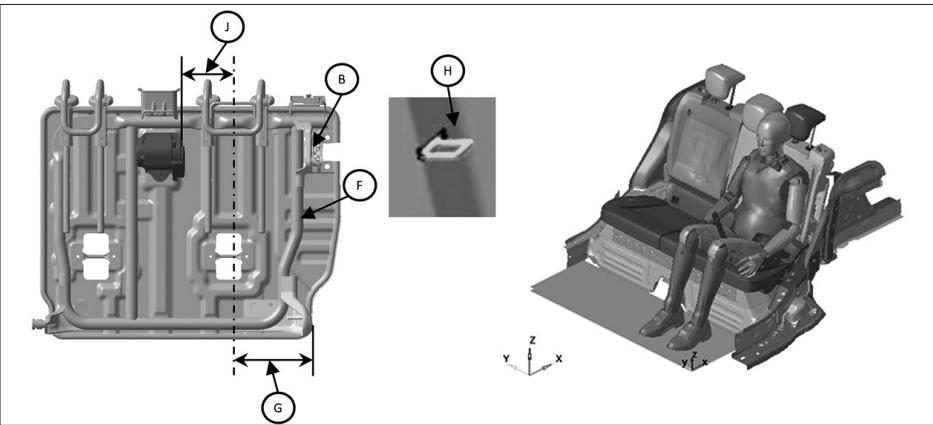


图 2 鞭打影响因子选择

表 2 后排鞭打因子矩阵表

因素	头后间隙 A	锁支架材料 B	靠背发泡硬度 C	头枕杆壁厚 D	头枕骨架距 A面距离 E	靠背管材料 F	靠背下固定点与 中心面间距 G	锁钩材料 H	卷收器距中 心面距离 J	得分
水平 工况	1. 34 2. 25	1. QSTE420,T1. 6	1. 4.5 2. 5.5	1. T2.0 2. t1.5	1. 20 2. 11.5	1. HC600/980Q P	1. 185 2. 215	1. QSTE500 2. 20CrMo	1. 130 2. 155	
1	A2	B2	C2	D1	E1	F1	G1	H2	J1	1.02
2	A1	B1	C1	D1	E2	F1	G1	H2	J2	0.74
3	A2	B2	C2	D2	E1	F2	G2	H1	J2	1.01
4	A2	B2	C1	D2	E2	F1	G1	H1	J1	0.93
5	A1	B2	C1	D1	E1	F2	G1	H1	J1	1.03
6	A1	B2	C2	D1	E2	F1	G2	H1	J2	0.95
7	A2	B2	C1	D1	E2	F2	G2	H2	J2	1.06
8	A1	B2	C1	D2	E1	F1	G2	H2	J2	1.05
9	A2	B1	C1	D1	E1	F1	G2	H1	J1	1.11
10	A1	B1	C1	D2	E2	F2	G2	H1	J1	0.45
11	A2	B1	C2	D1	E2	F2	G1	H1	J2	1.18
12	A2	B1	C1	D2	E1	F2	G1	H2	J2	1.15
13	A1	B2	C2	D2	E2	F2	G1	H2	J1	0.5
14	A2	B1	C2	D2	E2	F1	G2	H2	J1	0.68
15	A1	B1	C2	D1	E1	F2	G2	H2	J1	0.76
16	A1	B1	C2	D2	E1	F1	G1	H1	J2	1.05
K1	6.53	7.12	7.52	7.85	8.18	7.53	7.60	7.71	6.48	
K2	8.14	7.55	7.15	6.82	6.49	7.14	7.07	6.96	8.19	
k1	0.82	0.89	0.94	0.98	1.02	0.94	0.95	0.96	0.81	
k2	1.02	0.94	0.89	0.85	0.81	0.89	0.88	0.87	1.02	
R	0.20	0.05	0.05	0.13	0.21	0.05	0.07	0.09	0.21	

表 3 后排鞭打得分表

假人伤害指标		高性能 限值	低性能 限值	分析 值	得分	后排座椅 C-NCAP 得分
颈部伤害		NIC(m²/S²)	8	30	27.7	0.21
颈部载 荷	上颈部	Fx(N)	340	730	45.1	1.50
		Fz(N)	475	1130	300.1	1.50
		My(N.m)	12	40	11.2	1.50
	下颈部	Fx(N)	340	730	291.6	1.50
		Fz(N)	257	1480	3.1	1.50
		My(N.m)	12	40	7.8	1.50

部的支撑就会越好，头部的速度和胸部速度差变小，提升 NIC 得分。
E- 头枕骨架距 A 面距离越小，头枕的发泡越薄，头枕

骨架结构对头部的支撑越早，头部减速度的峰值会和胸部减速度的峰值越接近，NIC 得分越好。
J- 卷收器中心面距离，实际上影响的是假人的穿透。卷收器离中心面越近，假人的穿透量越小。假人穿透量过小，意味着胸部减速度 T1 越大，最终导致 NIC 变差。
根据 DOE 分析的结果，确定优化方案为 A2-B2-C1-D1-E1-F1-G1-H1-J2。新方案的 CAE 结果如表 3 所示：

4 结语

C-NCAP 2021 版中后排鞭打与前排鞭打相比，由于座椅结构不同，主要影响因子和最终得分都有较大差异。后排座椅因为假人的背部潜入量远比前排恶劣，后排座椅也无法像前排座椅那样有比较成熟的 WHIPS 机构来对鞭打进行优化，因此 NIC 得分普遍较差。本文所研究出的主要影响因子对同类型的后排座椅具备一定的借鉴意义。同时，应用 DOE 方法，可以较好的帮助工程师理清思路，占用较少的 CAE 资源，在短时间里找到主要影响因子并针对性的进行设计优化。

参考文献：

[1] 中国汽车技术研究中心有限公司 . C-NCAP 管理规则 (2021 年版) [Z].2020.
[2] Maria Krafft , Anders Kullgren , Anders Lie & Claes Tingvall , The Risk of Whiplash Injury in the Rear Seat Compared to the Front Seat in Rear Impacts[J], Traffic Injury Prevention, 4:2, 136-140, Sep 2010.
[3] Daniel W. H. Mang, Gunter P. Siegmund & Jean-Sébastien Blouin,A comparison of anti-whiplash seats during low/moderate speed rear-end collisions[J], Traffic Injury Prevention, 21:3, 195-200, Feb 2020.
[4] 姚震,黄年兵,张裕军,等 . 基于 DOE 和 CAE 技术的梯形悬置静刚度分析和优化 [J], 计算机辅助工程 .2018(08).