



本文通过对电动汽车后副车架悬置支架动、静刚度研究分析,得出后副车架悬置支架动静刚度计算方法及目标设定依据。

□ 合众新能源汽车有限公司 聂延志 江庆飞 吴毅 朱登火 孔凡永

纯电动汽车后副车架悬置支架刚度研究

随着国家“碳中和”目标的提出,新能源汽车在沿海城市将成为出行的首选。汽车不断更新换代,市场将有大量的新能源车型。纯电动汽车续航里程不断增加,电池容量及电池包体积逐渐加大,前驱布置的动力总成已不适合中高端电动汽车底盘平台。全新电动汽车底盘平台,动力总成多采用后驱驱动,旧平台悬置两点布置在车身,一点布置在后副车架上的方案已经逐步被淘汰,新的纯电动悬置的三个固定点均布置在后副车架上,本文通过对后副车架悬置支架动静刚度研究分析,可为纯电动平台后副车架悬置支架刚度目标值,提供准确性设定及技术支持,从而避免 NVH 问题的产生。

后副车架有限元模型建立

后副车架数据采用三维设计 CATIA 软件设计完成,后驱动电机悬置与后副车架三点连接,如图 1 所示。

使用 Hypermesh 对后副车架三维数据进行网

格划分,壳单元类型为 Quad4, Tria3,单元网格为 5 mm×5 mm,壳单元数量 78 620,实体单元类型为 Tria4,尺寸为 5 mm×5 mm,数量 3016,材料为 QSTE420,密度为 7.850e³ kg/m³,杨氏模量 2.1e¹¹ N/m²,泊松比 0.3,如表 1 所示。

表 1 有限元模型参数

单元	壳单元	类型	Quad4, Tria3
		尺寸	5 mm×5 mm
		数量	78 620
单元	实体单元	类型	Tria4
		尺寸 w	5 mm×5 mm
		数量	3016
材料	钢 QSTE420	杨氏模量	2.1e ¹¹ N/m ²
		泊松比	0.3
		密度	7.850e ³ kg/m ³

后副车架悬置支架静刚度、动刚度计算

1. 静刚度加载及约束

对后副车架网格添加约束和载荷,后副车架无衬套刚性连接,约束后副车架与车身 4 个安装点的 1~6 自由度,在后副车架悬置支架硬点位置 X、Y 和 Z 三个方向分别施加 1 kN 的载荷,静刚度按照公式 $K_i = F_i / S_i$ 计算,其中 K_i 为支架静刚度, F_i 为各项施加载荷, S_i 为单位载荷下的位移量,如表 2 所示。对后副车架网格施加约束及载荷,如图 2 所示。

2. 静刚度分析结果

通过有限元计算分析,后副车架三个悬置固定支架静刚度计算结果如下:

1) 左悬置支架在 X 方向的计算结果为 15 380 N/mm, 在 Y 方向的计算结果为

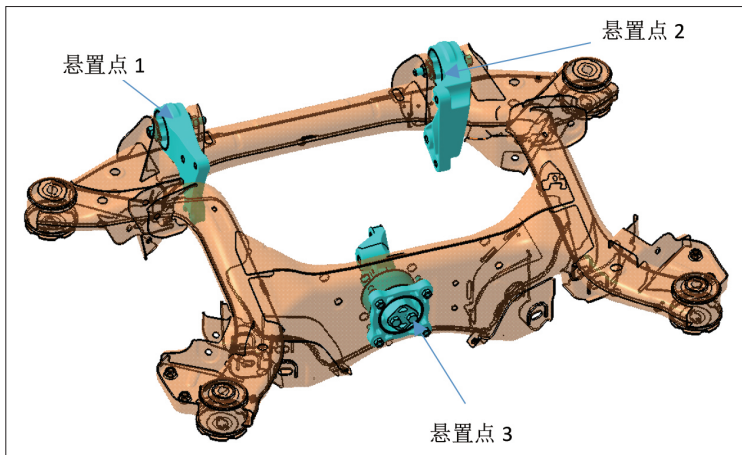


图 1 后副车架与悬置装配模型

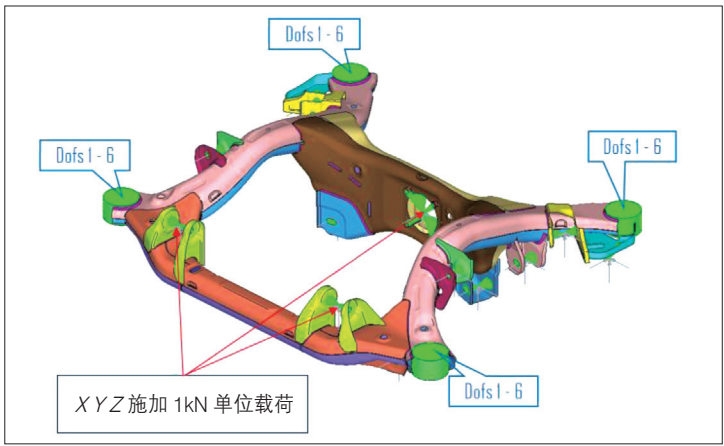


图2 后副车架载荷及约束

8 979 N/mm，在Z方向的计算结果为15 323 N/mm，分别都达到目标，判定合格。

2) 右悬置支架在X方向的计算结果为15 384 N/mm，在Y方向的计算结果为8 979 N/mm，在Z方向的计算结果为15 330 N/mm，分别都达到目标，判定合格。

3) 后悬置支架在X方向的计算结果为17 710 N/mm，在Y方向的计算结果为110 643 N/mm，在Z方向的计算结果为26 099 N/mm，分别都达到目标，判定合格。

3. 动刚度加载及约束

后副车架悬置支架动刚度计算分析，需要对划分后的后副车架网格添加约束和载荷，后副车架无衬套刚性连接，约束后副车架与车身4个安装点1~6的自由度，在悬置支架位置X、Y和Z三个方向分别施加单位力载荷，计算20~200 Hz的平均动刚度KD1，如表3所示。

4. 动刚度分析结果

通过有限元计算分析，后副车架上的三个悬置支架动刚度计算结果如下：

1) 左悬置支架在X方向的计算结果为14 585 N/mm，在Y

方向的计算结果为8 549 N/mm，在Z方向的计算结果为11 413 N/mm，分别都达到目标，判定合格。

2) 右悬置支架在X方向的计算结果为14 589 N/mm，在Y方向的计算结果为8 549 N/mm，在Z方向的计算结果为11 423 N/mm，分别都达到目标，判定合格。

表2 静刚度约束载荷

序号	项目	施加条件	注意事项
1	约束位置	约束后副车架与车身4个安装点	约束后副车架与车身安装平面硬点位置
2	约束方式	后副车架与车身4个安装点1~6自由度均需要约束，无衬套刚性连接	1~6自由度全部约束
3	施加载荷	在三个悬置硬点位置施加1 kN载荷，具体为 $F_x=1\text{ kN}$ ， $F_y=1\text{ kN}$ ， $F_z=1\text{ kN}$	/
4	计算方法	刚度 = 力 / 位移， $K_i=F_i/S_i$	/
5	线性求解器	OptiStruct	/
6	非线性求解器	N/A	/
7	耐久求解器	N/A	/

表3 动刚度约束载荷

序号	项目	施加条件	注意事项
1	约束位置	约束后副车架与车身4个安装点	约束后副车架与车身安装平面硬点位置
2	约束方式	后副车架与车身4个安装点1~6自由度均需要约束，无衬套刚性连接	1~6自由度全部约束
3	施加载荷	单位力频响，20~200 Hz平均动刚度	/
4	计算方法	模态频响分析	/
5	线性求解器	OptiStruct	/
6	非线性求解器	N/A	/
7	耐久求解器	N/A	/

3) 后悬置支架在X方向的计算结果为14 434 N/mm，在Y方向的计算结果为93 335 N/mm，在Z方向的计算结果为15 540 N/mm，分别都达到目标，判定合格。

5. 后副车架悬置支架动静刚度比研究

后副车架悬置支架动刚度和静刚度计算结果分析完成后，对动静刚度进行对比分析，得出悬置支架动静比均值为0.838，可得出悬置支架无动刚度迟滞现象，且随着振动频率的增加，悬置动刚度呈现下降趋势。后副车架悬置支架动静刚度比值如表4所示。

悬置衬套刚度与悬置支架刚度分析

依据整车目标要求，驱动电机解耦率要求 $\geq 80\%$ 的目标，通过解耦分析计算可得出悬置衬套



表 4 后副车架悬置支架动静刚度比

硬点位置	方向	静刚度 /(N/mm)	动刚度 /(N/mm)	动静刚度比值
左悬置支架	X	15 380	14 585	0.948
	Y	8 979	8 549	0.952
	Z	15 323	11 413	0.745
右悬置支架	X	15 384	14 589	0.948
	Y	8 979	8 549	0.952
	Z	15 330	11 423	0.745
后悬置支架	X	17 710	14 434	0.815
	Y	110 643	93 335	0.844
	Z	26 099	15 540	0.595
平均值	-	-	-	0.838

表 5 后副车架衬套动刚度与悬置衬套动刚度的目标比值

硬点位置	方向	电机悬置衬套动刚度 /(N/mm)	后副车架悬置支架动刚度 /(N/mm)	后副车架支架与电机悬置衬套动刚度比 (倍)
左悬置支架	X	336	14 585	43.4
	Y	84	8 549	101.8
	Z	420	11 413	27.2
右悬置支架	X	336	14 589	43.4
	Y	84	8 549	101.8
	Z	420	11 423	27.2
后悬置支架	X	140	14 434	103.1
	Y	560	93 335	166.7
	Z	630	15 540	24.7

各方向的动刚度要求，依据衬套隔振率需求，后副车架衬套动刚度与悬置衬套动刚度的目标比值是 20 倍，见表 5。

结论

通过对纯电动汽车后副车架悬置支架动静刚度分析研究，得出悬置支架动静刚度平均比值为 0.838，通过解耦率计算出悬置衬套动刚度后，依据隔振率要求，后副车架悬置支架动刚度与悬置衬套动刚度 20 倍比值关系，确定后副车架悬置支架的动刚度，再依据后副车架悬置支架动静刚度比值，确定后副车架悬置支架静刚度目标值，以此得到的后副车架悬置支架动刚度目标值较为准确，可避免后副车架悬置支架刚度不足或者刚度过大，同时避免驱动电机 NVH 问题。A

(上接第 15 页)

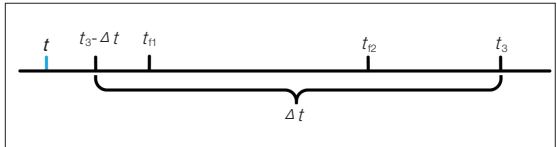


图 3 预约时间计算

次用车时间来计算 $\Delta t_{\text{start}} \circ t_3 - \Delta t \geq t_3$ ，此为无效值，不计算预约充电开始时间和预约充电结束时间。

当 $t_{f1} \leq t_3 - \Delta t < t_{f2}$ 且 $t < t_{f1}$ 时，执行预约充电，预约充电开始时间和预约充电结束时间计算如下：

$$\Delta t_{\text{start}} = t_{f1} - t \quad (5)$$

当 $t_{f1} \leq t < t_3$ 时，执行立即充电，预约充电开始时间和预约充电结束时间计算如下：

$$\Delta t_{\text{start}} = 0 \quad (6)$$

当 $t \geq t_3$ 时，按照下一次用

车时间来计算 $\Delta t_{\text{start}} \circ t_3 - \Delta t \geq t_3$ ，此为无效值，不计算预约充电开始时间和预约充电结束时间。
 $t_{f2} \leq t_3 - \Delta t < t_3$ ， $t < t_{f1}$ ，执行预约充电，预约充电开始时间和预约充电结束时间计算如下：

$$\Delta t_{\text{start}} = t_{f1} - t \quad (7)$$

当 $t_{f1} \leq t < t_{f2}$ 时，执行立即充电，预约充电开始时间和预约充电结束时间计算：

$$\Delta t_{\text{start}} = 0 \quad (8)$$

当 $t_{f2} \leq t < t_3 - \Delta t$ 时，执行预约充电，预约充电开始时间和预约充电结束时间计算如下：

$$\Delta t_{\text{start}} = t_3 - \Delta t - t \quad (9)$$

当 $t_3 - \Delta t \leq t < t_3$ 时，执行预约充电，预约充电开始时间和预约充电结束时间计算如下：

$$\Delta t_{\text{start}} = 0 \quad (10)$$

当 $t \geq t_3$ 时，按照下一次用车时间来计算 $\Delta t_{\text{start}} \circ t_3 - \Delta t \geq t_3$ ，此为无效值，不计算预约充电开始时间和预约充电结束时间。

结束语

本文方案可以避免因为网络异常无法设置预约充电信息的问题，当出现 T-box 与 TSP 之间网络异常后，仍可通过 HUT 进行充电信息设置，且避免了因断网导致 TSP 无法将计算结果发送给计时的 ECU，而且优化了 T-box 承担工作的权重，避免因为 T-box 承担充电功能权重过高，造成故障频发的问题；同时通过云端数据平台定时唤醒，还能避免 T-box 定时唤醒而引发的无法休眠问题。A