

# 团 体 标 准

---

## 电动载货汽车车架性能台架试验方法

Bench test method for performance of electric truck frame

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

---

中国汽车工业协会 发布



## 目录

前 言	2
1. 范围	1
2. 规范性引用文件	1
3. 术语和定义	1
3.1 扭转刚度 TORSIONAL STIFFNESS	1
3.2 弯曲刚度 BENDING STIFFNESS	1
3.3 车架自由模态 FREE MODE	1
3.4 疲劳 FATIGUE	1
3.5 疲劳强度 FATIGUE STRENGTH	1
3.6 疲劳寿命 FATIGUE LIFE	2
3.7 疲劳极限 FATIGUE LIMIT	2
3.8 车辆最大总质量 GROSS VEHICLE MASS	2
4. 试验条件	2
5. 样件准备	2
5.1 外观质量	2
5.2 连接要求:	2
5.2.1 焊接	2
5.2.2 铆接	2
5.2.3 螺接	2
5.3 车架疲劳载荷施加方法	<b>错误! 未定义书签。</b>
5.3.1 车架静载	<b>错误! 未定义书签。</b>
5.3.2 车架动载	<b>错误! 未定义书签。</b>
6. 试验方法	3
6.1 疲劳寿命试验	3
6.1.1 试验仪器设备及精度要求	3
6.1.2 车架疲劳载荷计算与施加方法	3
6.1.3 扭转疲劳寿命试验	4
6.1.4 弯曲疲劳寿命试验	6
6.2 自由模态试验	7
6.2.1 试验仪器	7
6.2.2 试验方法	8
6.2.3 模态参数辨识	10
6.3 刚度试验	10
6.3.1 仪器设备	10
6.3.2 扭转刚度	10
6.3.3 弯曲刚度	12
附录 A	13
附录 B	14
参考文献	19

# 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由汽车轻量化技术创新战略联盟提出。

本文件由中国汽车工业协会归口。

本文件起草单位：吉林大学，中国重汽集团济南动力有限公司，东风商用车有限公司，江铃汽车股份有限公司，北汽福田汽车股份有限公司，北奔重型汽车集团有限公司，浙江吉利新能源商用车集团有限公司，陕西汽车集团股份有限公司，北京科技大学。

本文件主要起草人：王登峰，孙磊，龚春辉，康明，陈静，任鹏，康功，刘波，吴铁锋，闫康康，余显忠，张立博，石黎林，夏长庚，黄遵国，张宗阳，陈磊，陈鑫，李小鹏，郝文杰，田野，石琦，王传青，张子峰，陈宏利，张尚。

# 电动载货汽车车架性能台架试验方法

## 1. 范围

本文件规定了电动载货汽车车架弯曲与扭转刚度、自由模态频率和疲劳寿命台架试验方法。

本标准适用于装用非承载车身的N1、N2和N3类电动载货汽车车架性能台架试验，其他商用车车架也可参照执行。

## 2. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- 1) GB/T 3730.1 《汽车和挂车类型的术语和定义》；
- 2) GB/T 15089 《机动车辆及挂车分类》；
- 3) SAE-China J3202-2013 《汽车金属材料和零件高周疲劳快速试验方法》；
- 4) QC/T 484-1999 《汽车油漆涂层》；
- 5) QC/T518-2013 《汽车用紧固件拧紧力矩》；
- 6) GB/T3098.1-2010 《紧固件机械性能 螺栓 螺钉和螺柱》。

## 3. 术语和定义

GB/T5620-2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 扭转刚度 Torsional stiffness

使车架产生单位扭转角所需要施加的扭矩，它表征车架抵抗扭转弹性变形的能力。

### 3.2 弯曲刚度 Bending stiffness

使车架产生单位垂向弯曲变形所需要施加的力，它表征车架抵抗弯曲弹性变形的能力。

### 3.3 车架自由模态 Free mode

它表征车架结构的固有振动频率和振型特性，描述车架的基本动力学性能，使车架开发的振动性能控制指标之一。

### 3.4 疲劳 Fatigue

指材料、零部件在循环应力或循环应变作用下，在一处或几处逐渐产生局部永久性累积损伤，经一定循环次数后产生微裂纹，裂纹逐渐扩展直至突然发生完全断裂的过程。

### 3.5 疲劳强度 fatigue strength

指材料在无限多次交变载荷作用而不产生破坏的最大应力。

### 3.6 疲劳寿命 Fatigue life

在指定的应力水平下，试样达到定义的失效标准之前所经历的应力循环次数。

### 3.7 疲劳极限 Fatigue limit

无限寿命下的疲劳强度。

### 3.8 车辆最大总质量 Gross vehicle mass

是指车辆满载时的总质量。

## 4. 试验条件

4.1 如无特殊规定，车架试验应在常温、常湿和常压的环境条件中进行。

## 5. 样件准备

### 5.1 外观质量

5.1.1 车架处于新出厂状态，各部位不得有锐边，毛刺。

5.1.2 车架外表面不得有明显的划伤、碰伤、变形。

5.1.3 车架外露表面若涂漆应符合QB/T484标准要求。

### 5.2 连接要求：

#### 5.2.1 焊接

5.2.1.1 各焊接处不得有漏焊、焊缝不规范、不充分及长度不足等现象。

5.2.1.2 焊接面不得处于不合理受力状态，不得产生不能复原的变形。

5.2.1.3 焊缝应饱满、光滑，不允许有虚焊、虚堆。

#### 5.2.2 铆接

5.2.2.1 车架采用冷铆铆接，铆钉、铆接零件表面应清洁、不得有锈层、油垢、铆钉孔不得有毛刺。

5.2.2.2 铆接零件装配应相互紧贴。可采用螺栓、定位销或夹子紧固被铆接零件。不允许采用焊接、点焊的方法紧固。

5.2.2.3 铆接时上、下铆头和铆钉应同心，以保证铆钉成形准确。

#### 5.2.3 螺接

5.2.3.1 车架采用螺栓连接，应有防松垫片或放松结构，不得因振动导致被连接件松脱。

5.2.3.2 螺栓拧紧力矩应符合QC/T518-2013《汽车用紧固件拧紧力矩》。

5.2.3.4 螺栓机械性能符合GB/T3098.1-2010《紧固件机械性能 螺栓 螺钉和螺柱》。

## 6. 试验方法

### 6.1 疲劳寿命试验

#### 6.1.1 试验仪器设备及要求

车架弯、扭疲劳寿命试验所需要的仪器设备有，前悬架支架，后悬架支架，静态加载装置，电液伺服作动器和力传感器，其性能和精度要求如表 1 所示。

表 1 车架疲劳试验所需仪器设备和要求

序号	仪器设备名称	数量	性能和精度要求
1	前悬架支架	1 套	足够刚度、可扭转
2	后悬架支架	2 个	足够刚度
3	静态加载装置	1 套	空载、半载和满载加载
4	电液伺服作动器	2 个	<1.0%FS
5	力传感器	2 只	±1N

#### 6.1.2 车架疲劳载荷计算与施加方法

##### 6.1.2.1 车架静载荷计算与等效施加

6.1.2.1.1 电动载货车车架上的静态荷载包含驾驶室、动力电池系统、货箱与货物、控制器、蓄电池和泵体等的重量，为了便于试验时对车架进行加载，把位于驾驶室下面连接在车架上的控制器、蓄电池和泵体等质量较小的零部件的重量合并到驾驶室中统一考虑。

6.1.2.1.2 在车架上驾驶室悬置4个安装点处施加与驾驶室和外加质量等量配重块。

6.1.2.1.3 在车架与动力电池连接点处施加与动力电池系统等质量配重块。

6.1.2.1.4 在车架上安装货箱位置连接一个与副车架等长、等宽的日字型框架，框架两纵梁应与车架两纵梁垂向对齐。在框架纵梁与横梁结合处上面各连接一个带外接显示屏的圆盘式压力传感器，共有6个力传感器，在每个压力传感器上面连接固定一个相同尺寸的空气弹簧，在空气弹簧上面用一个同尺寸的日字形框架压住。框架上端再用前后2个龙门架垂向约束固定。调节各空气弹簧的充气压力，通过各压力传感器的显示结果使车架上的载荷分别达到整车空载 $G_{kjmax}$ 、半载 $G_{bjmax}$ 和满载 $G_{mjmax}$ 静态载荷如图1所示，即可对车架实现不同装载量的载荷施加。

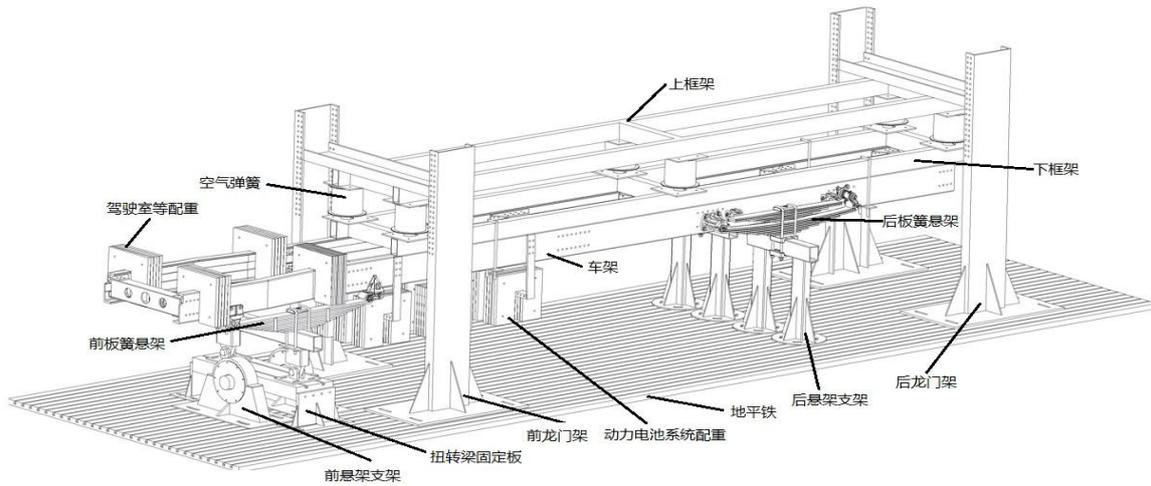


图1 车架静载施加示意图

### 6.1.2.2 车架动载荷计算与施加

取动载荷系数为1.5，将1.5倍驾驶室及其附加质量按比例施加在它和车架四个连接点上，把1.5倍动力电池系统质量施加在其与车架安装点处，调节6个空气弹簧压力分别得到车架在整车空载、半载和满载工况下的货物和货箱动载荷值 $G_{kbmax}$ 、 $G_{bbmax}$ 和 $G_{mbmax}$ ，计算出三种载荷工况下车架弯、扭动载荷的均值和幅值，用电液伺服作动器进行车架弯曲和扭转动载荷的施加。

### 6.1.3 扭转疲劳寿命试验

#### 6.1.3.1 车架安装与固定

把2个后悬架支架按照安装位置要求分别固定在地平铁上，把带扭转横梁的前悬架支架固定在车架前端地平铁上，把前、后悬架按照与实车相同的连接方式安装在车架上，把车架与悬架总成安装到前、后悬架支架上，保持车架和悬架与实车安装方式相同，并将前悬架扭转梁支架与地平铁之间的扭转梁支架拆除，允许试验时扭转梁绕轴转动，如图2所示。

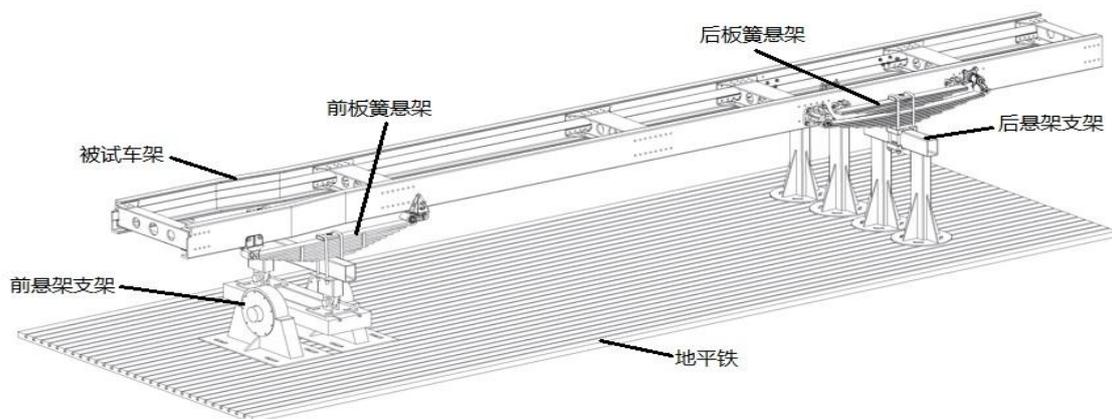


图2 车架安装示意图

### 6.1.3.2 扭转疲劳载荷计算与施加

6.1.3.2.1 扭转疲劳载荷计算。按照6.1.2.2计算出车架动载荷值，再计算出空、半和满载三种载荷工况下前轴最大动载荷 $F_{kmax}$ 、 $F_{btmax}$ 和 $F_{mtmax}$ ，取其1/2作为三种工况下车架前端最大扭转疲劳载荷 $T_{ktmax}=1/2F_{kmax}$ 、 $T_{btmax}=1/2F_{btmax}$ 、 $T_{mtmax}=1/2F_{mtmax}$ ，模拟整车行驶时一侧前轮悬空的车架最大实际扭转载荷工况。

6.1.3.2.2 预载荷施加。在车架施加6.1.2.2中规定的满载1.5倍垂向动载荷条件下，在车架前悬架两侧支撑点处，对车架再施加正、反向扭转载荷 $1/2T_{mtmax}$ ，并卸载，至少进行3个循环预加载，以检查车架安装和设备连接是否可靠如图3所示。

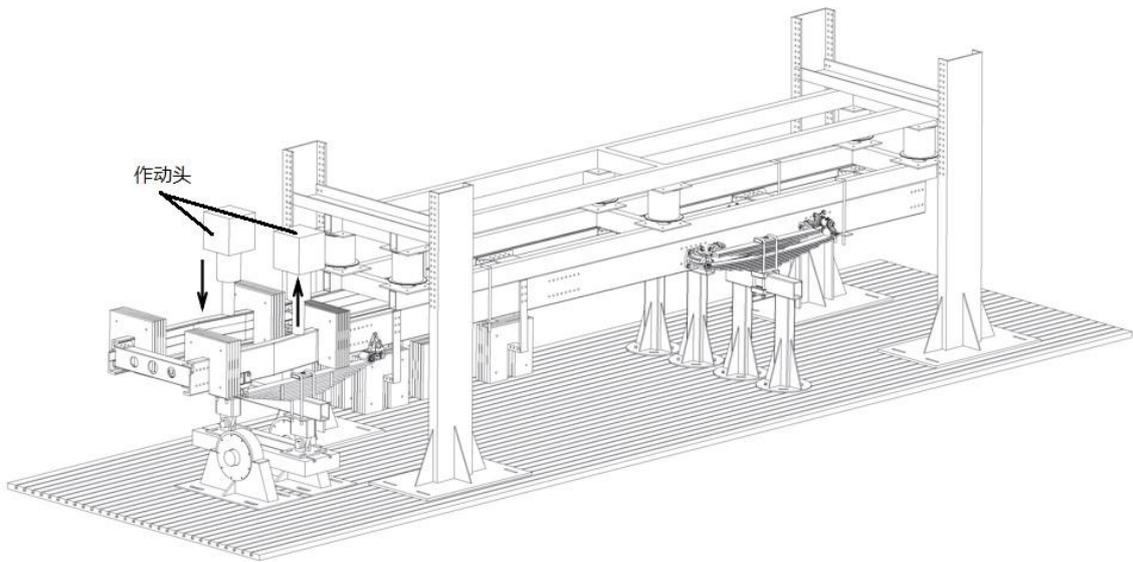


图3 车架扭转疲劳试验加载示意图

6.1.3.2.3 车架扭转疲劳试验载荷施加可选择以下加载方案之一进行：

1) 车架最大满载1.5倍扭转工况动载荷。对车架前悬架两侧支撑点处纵梁上翼缘处以2Hz的频率施加正、反向垂直扭转疲劳载荷 $1/2T_{mtmax}$ ，使车架绕前悬架支架扭转横梁转轴旋转，循环加载至50万次为止；

2) 用户使用工况扭转载荷。按照6.1.2.2对车架施加不同载质量动载荷的基础上，分别进行车架空载 $1/2T_{ktmax}$ 、半载 $1/2T_{btmax}$ 和满载 $1/2T_{mtmax}$ 扭转疲劳载荷加载，使车架绕前悬架支架扭转横梁转轴旋转，每个载荷循环1万次，加载频率为2Hz正弦信号，如表2所示。重复表2中的加载循环25次，达到75万次循环加载。

表2 用户使用工况扭转疲劳试验载荷

载荷级数	加载载荷 (N)	循环次数 ( $\times 10^4$ )	频率(Hz)
1	$1/2T_{ktmax}$	1.0	2.0
2	$1/2T_{btmax}$	1.0	2.0
3	$1/2T_{mtmax}$	1.0	2.0

3) 双方约定工况扭转载荷。车架扭转疲劳载荷大小、载荷分级、加载次序与每级载荷循环次数,也可以按供需双方商定的量值和方法进行。

6.1.3.2.4 如果加载设备能够实现,允许采用更高的加载频率进行疲劳加速试验,以缩短试验时间。

6.1.3.3 扭转疲劳试验数据记录。每循环加载1万次停机检查车架扭转疲劳状态,如车架上出现2-3mm的可见疲劳裂纹或断裂,记录失效位置、循环次数,并拍摄失效位置、裂纹或断口及整个车架照片。

6.1.3.4 扭转疲劳寿命检验。若车架达到规定次数扭转疲劳循环加载没有产生2-3mm及以上的可见裂纹或断裂,则车架扭转疲劳寿命满足要求,否则车架扭转疲劳寿命不满足要求。

#### 6.1.4 弯曲疲劳寿命试验

6.1.4.1 按照6.1.3.1进行车架安装和固定,并用扭转梁固定板将前悬架支架的扭转梁与地平铁连接固定,防止试验时扭转梁转动。

6.1.4.2 弯曲疲劳载荷计算与施加

6.1.4.2.1 按照6.1.2.2计算车架最大弯曲工况动载荷;

6.1.4.2.2 预载荷施加。把两个电液伺服作动头垂向施压在6.1.2.1.4中所述的上面日字形框架中间横梁与两纵梁连接处,放开2个龙门架上端的约束横梁,在2个电液伺服作动头上各施加货物和货箱最大弯曲动载荷的一半 $1/2G_{mbmax}$ 如图4所示,并卸载。至少施加3个循环,检查车架安装和设备连接是否可靠。

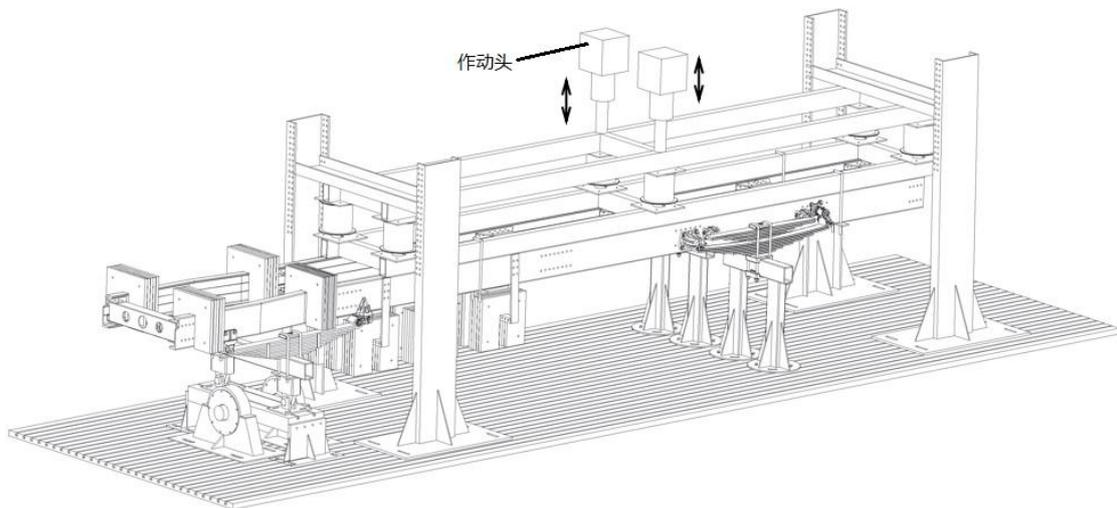


图4 车架弯曲疲劳试验加载示意图

6.1.4.2.3 车架弯曲疲劳载荷施加可选择以下加载方案之一进行:

1) 车架最大满载1.5倍弯曲工况动载荷。在2个电液伺服作动头上各施加以车架满载静载荷 $1/2G_{mjmax}$ 为均值、 $1/2G_{mbmax}-G_{mjmax}$ 为幅值的弯曲疲劳载荷,加载频率为2Hz正弦信号,使车架处于弯曲疲劳状态,循环加载至50万次为止;

2) 用使用工况弯曲载荷。在2个电液伺服作动头上按表3中的加载方案分别对车架循环施加弯曲疲劳载荷,加载频率为2Hz正弦信号,每个载荷级数循环1万次,重复表3中的加载循环25次。

表 3 用户使用工况弯曲疲劳试验载荷

载荷级数	载荷均值 (N)	载荷幅值 (N)	循环次数 ( $\times 10^4$ )	频率 (Hz)
1	$1/2G_{kjmax}$	$1/2(G_{kbmax}-G_{kjmax})$	1.0	2.0
2	$1/2G_{bjmax}$	$1/2(G_{bbmax}-G_{bjmax})$	1.0	2.0
3	$1/2G_{mjmax}$	$1/2(G_{mbmax}-G_{mjmax})$	1.0	2.0

3) 双方约定工况弯曲载荷。弯曲疲劳载荷大小、载荷级数、加载次序与每级载荷循环次数，可以按供需双方商定的量值和方法进行。

#### 6.1.4.3 弯曲疲劳试验数据记录

每循环加载 1 万次停机检查车架弯曲疲劳状态，如车架上出现 2-3mm 及以上的可见疲劳裂纹或断裂，记录失效位置、循环数，并拍摄失效位置、裂纹或断口及整个车架照片。

#### 6.1.4.4 弯曲疲劳寿命检验

若车架达到规定循环次数的弯曲疲劳加载没有产生 2-3mm 及以上的可见裂纹或断裂，则车架弯曲疲劳寿命满足要求，否则车架弯曲疲劳寿命不满足要求。

## 6.2 自由模态试验

### 6.2.1 试验仪器

车架自由模态试验仪器设备和传感器如表 1 所示。

表 2 车架自由模态试验仪器

序号	仪器设备名称	数量	性能和精度要求
1	激振系统	2 套	激振力 $\geq 500N, 0.5\%FS$
2	三向加速度传感器	若干 ( $\geq 10$ 个)	100mV/g
3	力传感器	2	$\geq 1.0\%FS$
4	数采前端	$\geq 36$ 通道	0.5%FS
	试验模态分析系统	1 套	/

#### 6.2.1.1 激振系统

主要有电磁激振器、功率放大器、力传感器、电源和连接线等，至少应有 2 套激振系统。对于所需激振能量不大的轻型车车架，也可以用力锤敲击激励。

#### 6.2.1.2 传感器

车架模态试验采用三轴向轻质振动加速度传感器，质量 5g-10g，频响范围 0.5Hz-5000Hz，灵敏度 100mv/g，传感器数量应不超过试验所用数据采集系统通道数的 1/3，同时要考虑传感器对车架附加质量影响，若车架上布置的测点过多时，可以分多组分别测量。传感器在使用前须进行标定。

#### 6.2.1.3 数据采集系统

应具备加速度和力信号采集存储功能，随机、伪随机与正弦扫频信号输出功能，同时有信号频响函数 (FRF) 分析和试验模态分析辨识模块。

## 6.2.2 试验方法

### 6.2.2.1 车架支撑

车架自由模态测试可选用适当刚度的弹簧/橡皮绳进行四点软悬吊，或用可充放气的4个高度可调空气弹簧支座支撑，使车架整体垂向刚体振动频率在3Hz以内。车架支撑或悬吊点尽可能选在车架整体弯扭模态振型节点位置，靠近车架与前后悬架弹簧连接点处如图4所示，车架安装时应去掉与车架非焊接连接的所有可拆除连接件。支撑系统调整后，用固定托架对车架进行固定和安全保护，模态试验时取下固定托架。

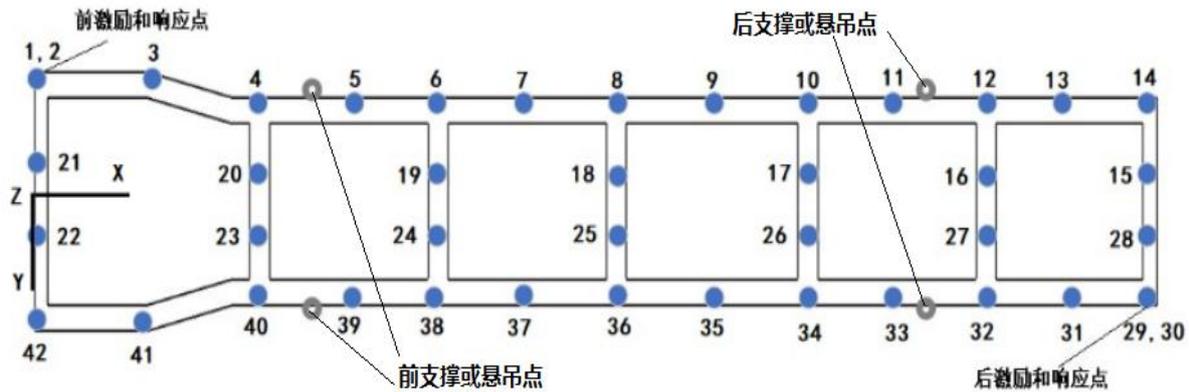


图4 车架激励和响应测点选择

### 6.2.2.2 激振点选取与激振器安装

当采用2点激振时，在车架前、后端对角附近位置处各选择一个激振点如图4所示，激振点位置的刚度要足够大，以便使激振能量传递到整个车架。选取一个激振力的方向垂直向上，另一个激振力方向与三个坐标轴近似成45度角，使激振能量在车架x、y和z方向均有适当分配，能够有效激发出车架不同方向的模态。激振器要放置在激振点附近一定高度的基座上并加以固定，以保证试验过程中激振器不发生晃动；激振器顶杆自然连接到激振器和车架激振点之间，不得承受受拉力和横向力，当确认激振器顶杆安装无误后，断开顶杆和车架之间的连接，以便进行下一步的试验准备。

### 6.2.2.3 测量点确定

选取车架后横梁中点作为坐标原点，按照前X、左Y和上Z的整车坐标系建立车架试验模态分析坐标系，车架上要选取足够多的测量点，纵、横梁连接点处须设置测量点，以便使车架模态振型能充分反应车架结构的整体形状，测量点要分布合理，疏密适当，选在容易安装加速度传感器的位置，并进行顺序编号如图4所示，测量和记录各测量点坐标；测量点应避开车架前几阶整体模态振型的节点位置，以防响应信号小、信噪比低。

### 6.2.2.4 加速度传感器安装

按照测量点编号和测量顺序，在测点位置依次粘贴加速度传感器，三向加速度传感器的测量方向要按所建立坐标系方向设置并记录，使用专用蜜蜡或薄双面胶粘贴传感器，传感器连接线要进行

固定。在每个激振点位置，按照所建立坐标系方向安装一个三向振动加速度传感器称为驱动点传感器，试验过程中该传感器不得变动。

#### 6.2.2.5 车架建模

在模态试验分析软件中分别输入 6.2.2.3 确定的各测量点，并按照车架的结构形状依次连接这些测量点，建立车架网格模型，定义文件名，并对各个测点进行检查，必要时还需对传感器的位置进行调整，以便更加合理地布置传感器测量位置，激励点传感器位置不画网格。

#### 6.2.2.6 参数设置

设置好加速度响应和力激励信号通道，再将各数据通道关联到各测量点的 X、Y、Z 坐标方向，并将激振点关联到模型中真实的测点位置。根据所需要分析的模态阶次和频率带宽，按采样定理设置采样频率，确定数据采集平均次数。工程实际中常取分析带宽 0.5Hz-200Hz，采样频率>1kHz，频率分辨率 0.125Hz，平均次数为 32-64。

#### 6.2.2.7 车架预激振

连接所有测量仪器和传感器，打开工作电源，进行车架预激振试验。先选用某频率（如5Hz）的正弦信号进行车架预激振，通过调整功放输出改变激励信号幅值，使两个激振器输出的激振力幅值之差小于3dB，观察所有通道的振动加速度响应信号，检查这些响应信号是否正常，检查调整结束后进行车架正式模态试验。

#### 6.2.2.8 车架激励信号确定

采用多输入和多输出（MIMO）方式进行车架激励试验，用突发随机信号对车架进行激励，或以稳态正弦扫描信号进行激励，扫频信号频率范围1Hz-240Hz（ $\cong$ 分析带宽的1.2倍），分辨率间隔 $\cong$ 0.195Hz。

#### 6.2.2.9 试验数据采集

按照设定的采样频率、分析带宽、频率分辨率和数据采集平均次数，对被激振的车架加速度响应信号进行采集并存储，计算各激励点到响应点的频响函数（FRF）。试验过程中，根据数据采集系统的通道数对所有测点进行分组测量，以免同时安装的加速度传感器过多对车架产生较大的附加质量，影响试验模态测量精度。当一组数据测量结束后，再将这些传感器移动到其他测量点上，继续测量，直到所有测点均测完为止。

#### 6.2.2.10 试验数据校验

6.2.2.10.1 激励点信号检验。测量过程中，要实时检查激励点的 FRF 曲线，曲线应为没有明显峰值的平稳曲线，激励信号的相干函数 COH 应不低于 0.8。如激励点的 FRF 曲线出现多个明显峰值，则要停止激振，检查激振器的安装点是否松动、车架激振点是否具有足够高的刚度。如刚度不足，应

调整激振点位置。

6.2.2.10.2 响应点 FRF 曲线检验。在响应点 FRF 曲线主要峰值位置对应的相干函数值应不低于 0.8。当相干函数的 FRF 多毛刺时，要增大输入力、增加平均次数和触发时间。

6.2.2.10.3 非刚体模态特征检查。在车架很低频段出现非刚体模态特征时，需要检查传感器方向与模型设置是否一致、车架几何模型和传感器标定是否正确、FRF、COH、输入力自谱和激励与响应信号的互谱计算是否正确，激振器激励点是否松动等。

### 6.2.3 模态参数辨识

6.2.3.1 模态参数识别。根据得到的全部频响函数（FRF），从所用的试验模态分析软件中选取最佳的识别方法进行车架模态参数辨识。从频响函数稳态图中提取车架模态频率、模态振型和模态阻尼比，根据分析需要确定要提取的低阶弹性模态阶数。

6.2.3.2 模态参数检验。用 FRF 曲线的峰值分布、幅值频响曲线、实部和虚部频响曲线、模态指示函数、模态置信准则 MAC，综合评估模态参数的准确性。

## 6.3 刚度试验

### 6.3.1 仪器设备

车架弯、扭刚度试验所需的仪器设备如表 3 所示。

表 3 车架弯扭刚度试验仪器设备

序号	仪器设备名称	数量	性能与精度要求
1	前悬架支架	1	足够刚度，可扭转
	后悬架支架	1	足够刚度
2	电液伺服作动器	2 个	<1.0%FS
3	力传感器	2	≥1.0%FS
4	位移传感器	≥2 个	≥0.5%FS

### 6.3.2 扭转刚度

#### 6.3.2.1 车架安装

进行扭转刚度试验时车架安装和固定按 6.1.3.1 进行。分别调节前、后悬架支架，使前悬架横梁上的支架位置对称于扭转梁转动轴线，并确保车架与地平铁上平面平行。把前悬架支架扭转横梁两侧与地平铁连接的支架放开，使扭转横梁能够绕扭转轴自由转动。

#### 6.3.2.2 测点选择与传感器布置

在车架两纵梁上对称选择若干个测点如图 5 所示，其中应包含 6.2.2.1 中确定的 4 个车架支撑点。在各测点处安装位移传感器，并确保各传感器垂直于地平铁上平面并保持两侧对称，试验加载过程中，各传感器不应有不连续或突变位移值，也可以通过在车架两端移动位移传感器测量车架各测点的位移。

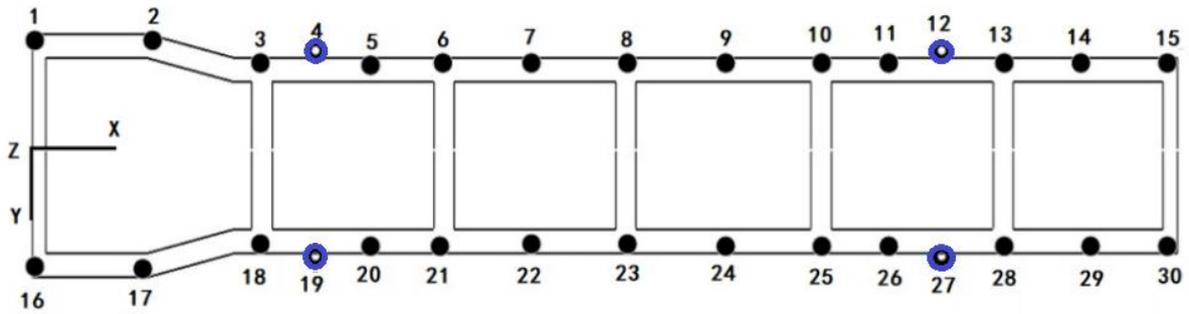


图 5 车架位移测点选取

### 6.3.2.3 扭转刚度试验方法

6.3.2.3.1 确定车架扭转最大加载载荷。取整车满载时最大前轴静载荷  $F_{mmax}$  的 1/2，并向上取整。

6.3.2.3.2 预加载和卸载。用 2 个电液伺服作动头沿分别沿顺、逆时针方向在车架前端两测点 1 和 16 处施加反向载荷，并分 3-5 级逐渐加载至最大载荷。若得到的车架扭转位移数据线性度不够，请检查车架支撑点处的连接是否具有足够的刚性，以及传感器的状态和位置是否正确，并进行调整。然后逐级卸掉载荷，以消除各连接点处的间隙。此步骤可反复进行，直至试验数据线性度满足要求。然后将加载装置和位移传感器调零。

6.3.2.3.3 分级加载。将最大载荷均匀分成 4 级，并进行分级加载，加载速度不超过 100N/s，再逐级将负载卸至零。

6.3.2.3.4 试验数据纪录。在顺时针和逆时针加载和卸载过程中，用位移传感器逐级分别记录各测点处位移值。

6.3.2.3.5 重复 6.3.2.3.3 和 6.3.2.3.4 的测量过程至少 3 次，并将每次测量结果取平均，作为最终测量结果。

### 6.3.2.4 试验数据处理

6.3.2.4.1 车架扭转位移曲线绘制。根据纪录的车架扭转位移数据，画出车架扭转位移随车架测点位置的变化关系曲线，检查曲线是否连续并平滑过渡。如果存在突变或不连续的现象，需要对整个试验环节进行逐项检查，并重新进行试验，直至试验曲线满足要求。

6.3.2.4.2 车架扭转刚度计算。车架扭转刚度定义为：

$$K_t = \frac{T}{\theta} \quad (1)$$

式中， $K_t$ —为车架扭转刚度 (Nm/°)； $T$ —施加在车架上的扭矩 (Nm)； $\theta$ —车架前支撑点处的扭转角 (°)。

6.3.2.4.3 车架扭转角计算。车架前支撑点出扭转角的计算公式为：

$$\theta = \tan^{-1} \frac{S_r + S_l}{L} \quad (2)$$

式中,  $S_r$ —为车架右前支撑点处的 Z 向位移 (mm);  $S_l$ —为车架左前支撑点处的 Z 向位移 (mm);  $L$ —为车架前端左右两支撑点间的水平距离 (mm)。

### 6.3.3 弯曲刚度

#### 6.3.3.1 车架安装

弯曲刚度试验时车架安装与 6.3.2.1 相同, 但需把前悬架支架扭转横梁两侧支架与地平铁连接固定, 约束扭转横梁绕扭转轴转动。

#### 6.3.3.2 测点选择与传感器安装

测点选择与传感器安装与 6.3.2.2 相同。

#### 6.3.3.3 弯曲刚度试验方法

6.3.3.3.1 确定车架弯曲最大加载载荷。提取整车满载时车架最大弯曲载荷, 并向上取整。

6.3.3.3.2 车架预加载和卸载。在车架前、后支撑点中间位置两侧点 8 和 23 处, 同时施加 6.3.3.3.1 确定的车架最大弯曲载荷, 并分 3-5 级逐渐加载至最大载荷。若得到的车架弯曲位移数据线性度不够, 需检查车架支撑点处的连接是否具有足够的刚性, 以及传感器的状态和位置是否正确, 并进行调整。然后逐级卸掉载荷, 以消除各连接点处的间隙。此步骤可反复进行, 直至试验数据线性度满足要求。并将加载装置和位移传感器调零。

6.3.3.3.3 分级加载。将车架最大弯曲载荷均匀分成 4 等分, 并进行分级加载, 加载速度不超过 100N/s。然后, 再逐级将负载卸至零。

6.3.3.3.4 数据纪录。在加载和卸载过程中, 用位移传感器逐级分别记录各测点处的位移值。

6.3.3.3.5 重复 6.3.3.3.3 和 6.3.3.3.4 的测量过程至少 3 次, 并将每次测量结果取平均, 作为最终测量结果。

#### 6.3.3.4 试验数据处理

6.3.3.4.1 车架弯曲位移曲线绘制。根据纪录的各测量点车架弯曲位移数据, 画出车架弯曲位移随车架纵梁测点位置的变化关系曲线, 检查曲线是否连续并平滑过渡。如果存在突变或不连续的现象, 需要对整个试验环节进行逐项检查, 并重新进行试验, 直至试验曲线满足要求。

6.3.3.4.2 车架弯曲刚度计算。车架弯曲刚度定义为:

$$K_b = \frac{2F}{D_r + D_l} \quad (3)$$

式中,  $K_b$ —车架弯曲刚度 (N/mm);  $F$ —施加的弯曲载荷 (N);  $D_r$  和  $D_l$ —为车架左右纵梁 Z 向位移的最大值。

## 附录 A

### 试验报告基本信息

试验报告至少应包括以下基本信息：

1. 试验依据；
2. 试验目的；
3. 试验对象；
4. 试验人员；
5. 试验日期；
6. 试验仪器设备，应写明主要仪器设备的名称、型号等基本参数，以及校准信息；
7. 试验条件与标准不同之处的说明；
8. 试验结果；
9. 结论与建议。

## 附录 B

### 试验报告

#### 1. 车架疲劳试验

##### 1.1 车架扭转疲劳寿命试验

需填写车架扭转疲劳寿命试验记录表 1

表 1 车架扭转疲劳寿命试验记录表

车架扭转疲劳寿命试验记录				
一、试验基本信息				
试验名称		项目名称		
试验申请人		试验日期		样品名称
样品编号		样品状态	<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 异常：_____	
试验人员		试验开始时间		试验结束时间
三、试验设备信息				
设备名称		设备编号		设备规格
设备状态	试验前	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常：_____		
	试验后	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常：_____		
四、试验测试数据				
样品编号	扭转载荷 (N)	循环次数(次)	样品状态	夹具状态
1#			<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 裂纹 <input type="checkbox"/> 断裂	<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 失效
2#			<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 裂纹 <input type="checkbox"/> 断裂	<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 失效
3#			<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 裂纹 <input type="checkbox"/> 断裂	<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 失效
备注：（记录试验中异常状态/重要监控点数据，试验过程照片等）				

##### 1.2 车架弯曲疲劳寿命试验

需填写车架弯曲疲劳寿命试验记录表 2

表 2 车架弯曲疲劳寿命试验记录表

车架扭转疲劳寿命试验记录				
一、试验基本信息				
试验名称		项目名称		
试验申请		试验日期		样品名称

人					
样品编号		样品状态	<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 异常：_____		
试验人员		试验开始时间		试验结束时间	
<b>三、试验设备信息</b>					
设备名称		设备编号		设备规格	
设备状态	试验前	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常：_____			
	试验后	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常：_____			
<b>四、试验测试数据</b>					
样品编号	弯曲载荷 (N)	循环次数(次)	样品状态	夹具状态	
1#			<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 裂纹 <input type="checkbox"/> 断裂	<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 失效	
2#			<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 裂纹 <input type="checkbox"/> 断裂	<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 失效	
3#			<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 裂纹 <input type="checkbox"/> 断裂	<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 失效	
备注：（记录试验中异常状态/重要监控点数据，试验过程照片等）					

## 2. 车架自由模态试验

需填写车架自由模态试验记录表 3，展示出车架前几阶整体弹性模态振型图 1，包含一阶扭转模态振型、一阶横向弯曲模态振型、一阶垂向弯曲模态振型，二阶扭转模态振型、二阶横向弯曲模态振型、二阶垂向弯曲模态振型等。

表 3 车架自由模态试验数据记录表

阶次	模态弹性频率(Hz)	阻尼比	振型描述
1			
2			
3			
4			
5			
6			
.....			

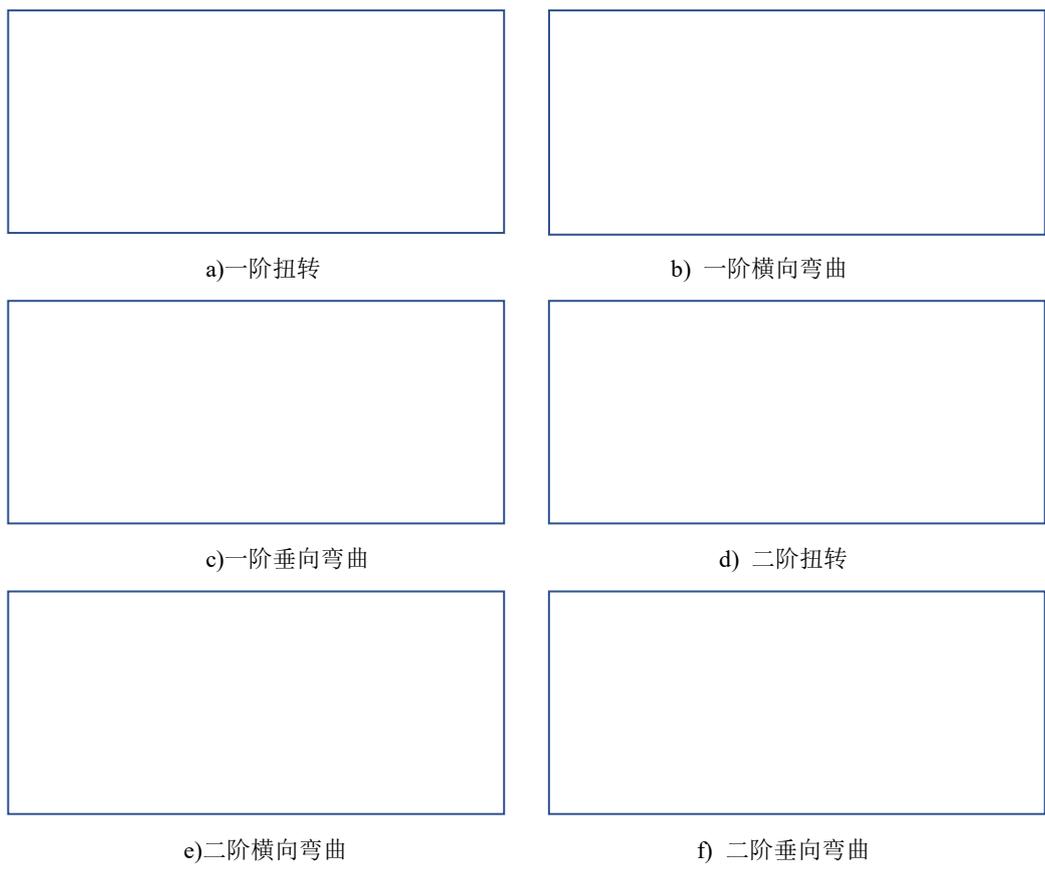


图 1 车架主要模态振型图

### 3. 车架刚度试验

#### 3.1 车架扭转刚度试验

须填写车架扭转刚度试验记录表 4，并画出车架扭转位移曲线图 2。

表 4 测量点扭转位移数据记录表

扭矩 (Nm)									
测点对		1&16	2&17	3&18	4&19	5&20	6&21	7&22	8&23
位移 (mm)	左侧								
	右侧								
测点对		9&24	10&25	11&26	12%27	13&28	14&29	15&30	
位移 (mm)	左侧								
	右侧								
扭矩 (Nm)									
测点对		1&16	2&17	3&18	4&19	5&20	6&21	7&22	8&23
位移 (mm)	左侧								
	右侧								
测点对		9&24	10&25	11&26	12%27	13&28	14&29	15&30	
位移 (mm)	左侧								
	右侧								
.....		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	

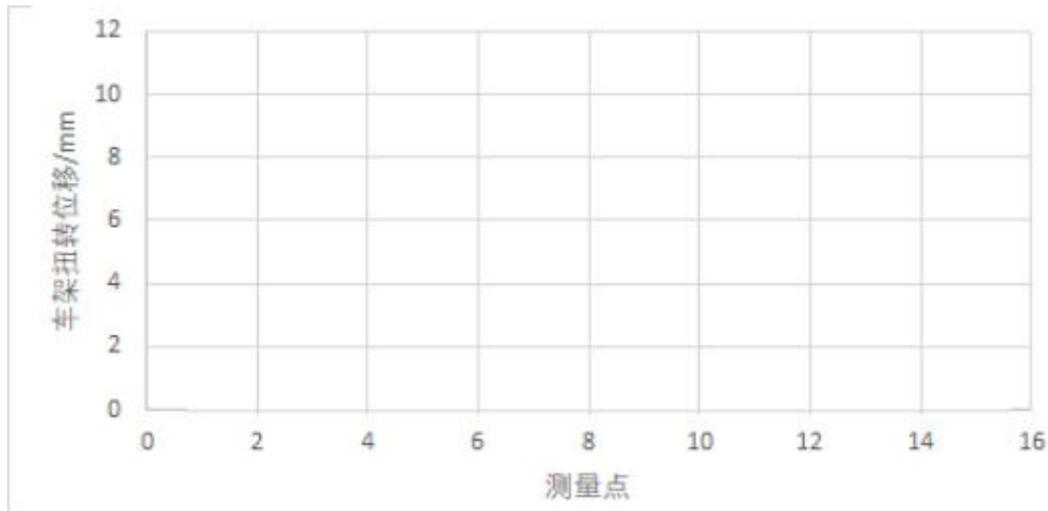


图 2 不同扭转载荷作用下车架位移随测点变化关系曲线

### 3.2 车架弯曲刚度试验

须填写车架弯曲刚度试验记录表 5，并画出不同载荷作用下车架弯曲位移随测点变化的变关系曲线，检查曲线是否光滑、平顺、无突变。

表 5 测量点弯曲位移数据记录表

弯曲载荷 (N)									
测点对		1&16	2&17	3&18	4&19	5&20	6&21	7&22	8&23
位移 (mm)	左侧								
	右侧								
测点对		9&24	10&25	11&26	12%27	13&28	14&29	15&30	
位移 (mm)	左侧								
	右侧								
弯曲载荷 (N)									
测点对		1&16	2&17	3&18	4&19	5&20	6&21	7&22	8&23
位移 (mm)	左侧								
	右侧								
测点对		9&24	10&25	11&26	12%27	13&28	14&29	15&30	
位移 (mm)	左侧								
	右侧								
.....		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	

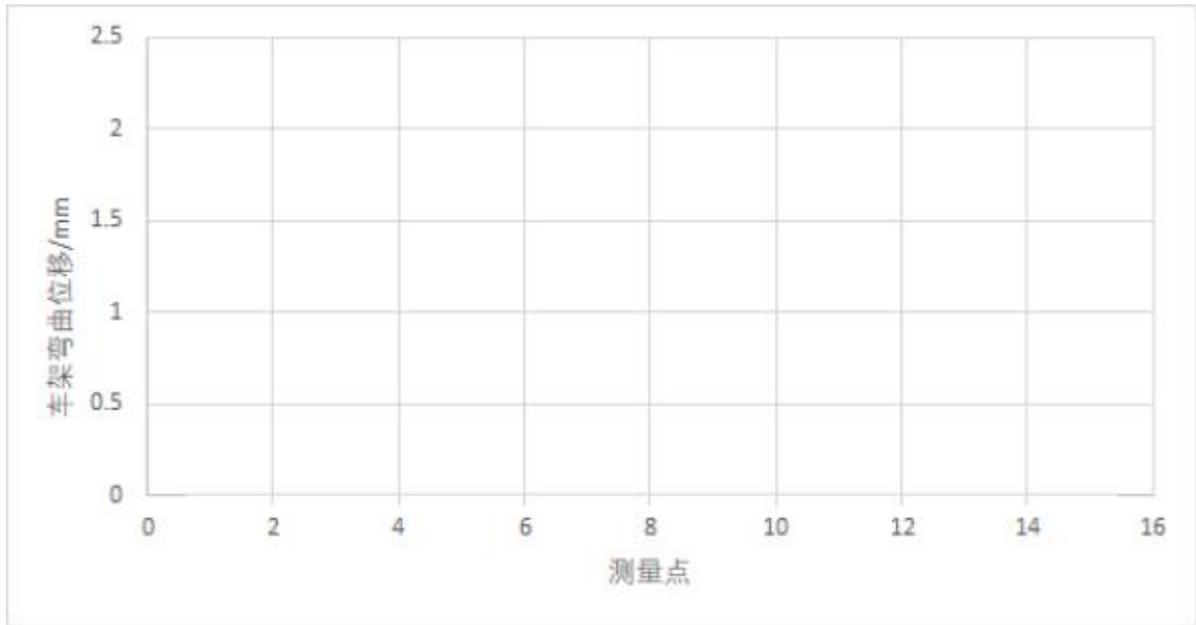


图3 不同弯曲载荷作用下车架位移随测点变化关系曲线

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 3730.1 汽车和挂车类型的术语和定义
- [2] GB/T 15089 机动车辆及挂车分类
- [3] 张立军, 余卓平, 靳晓雄, 周宏. 汽车整车与零部件试验模态分析测试技术[J]. 汽车研究与开发, 2000, No.5: 37-40。
- [4]徐文雅, 申娟, 胡宏. 车架台架疲劳试验方法研究[J]. 汽车技术, 2011, No.2: 44-45。
- [5]洪学臣. 车架疲劳台架试验及验证[J]. 汽车实用技术, 2015, No.7:85-86 (101)。
- [6]马鸣图, 冯美斌, 陈一龙, 王智文等. 汽车金属材料和零件高周疲劳快速试验方法[S]. SAE-China J 3202-2013, 2014年5月。