



中华人民共和国国家标准

GB/T xxxx.3—xxxx/ ISO 16750-3: 2007

道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分：机械负荷

Road vehicles - Environmental conditions and testing
for electrical and electronic equipment
Part 3: Mechanical loads

(ISO 16750-3:2007, IDT)

×××××-××-××发布

×××××-××-××实施

中 华 人 民 共 和 国

国家质量监督检验检疫总局 发布

前 言

GB/T××××《道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验》包括五个部分：

- 第 1 部分：一般规定
- 第 2 部分：电气负荷
- 第 3 部分：机械负荷
- 第 4 部分：气候负荷
- 第 5 部分：化学负荷

本部分为 GB/T××××的第 3 部分，采用 ISO16750-3 进行制定。本部分与 ISO16750-3 的一致性程度为等同，主要差异如下：

- “ISO 16750 的本部分”一词改为“GB/T×××× 的本部分”或“本部分”；
- 用小数点“.”代替原作为小数点的逗号“,”；
- 删除国际标准的前言；
- 将规范性引用文件中已转化或同时转化为我国标准的 ISO 标准改为我国标准；
- 因原标准中的第 6 章无实质内容，本标准予以删除；
- 为保持上下文和理解的统一，4.5 条补充一句：试验和要求由供需双方协商。

本部分附录 A、B 为资料性附录。

本部分由全国汽车标准化技术委员会提出。

本部分由全国汽车标准化技术委员会归口。

本部分起草单位：

本部分起草人：

本部分为首次发布

道路车辆-电气及电子设备的环境条件和试验

第 3 部分：机械负荷

1 范围

本部分适用于道路车辆用电气电子系统/组件，对于安装在车辆上/内特定位置的系统/组件描述了可能的环境应力，且规定了试验及要求。

本部分描述了机械负荷。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T××××.1 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第 1 部分：一般规定 (ISO 16750-1:2006,IDT)

GB/T××××.4 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第 4 部分：气候负荷 (ISO 16750-4:2006,IDT)

GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）（GB/T 2423.10-2007，IEC 60068-2-6:1995， IDT）

GB/T 2423.22 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 N:温度变化（IEC 60068-2-14:1984， IDT）

GB/T 2423.6 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Eb 和导则：碰撞 (IEC 60068-2-29: 1987， IDT)

GB/T 2423.8 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Ed: 自由跌落（IEC 60068-2-32: 1995， IDT）

GB/T 2423.56 电工电子产品环境试验 第 2 部分 试验方法 试验 Fh:宽带随机振动(数字控制)和导则（GB/T 2423.56-2006， IEC 60068-2-64:1993 ， IDT）

GB/T 2423. xx 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fi: 振动-混合方式（IEC 60068-2-80， IDT）

3 术语和定义

GB/T××××.1 给出的术语和定义适用于本部分。

4 试验和要求

4.1 振动

4.1.1 一般规定

按电气和电子设备在车上应用情况规定了不同振动严酷度要求的试验方法。车辆生产商和供应商可根据特定的安装位置选择试验方法、环境温度和振动参数。

规定的量值用于直接安装在所定义的位置。使用支架安装会提高或降低负荷，如果受试装置（DUT）在车上使用支架，在振动和机械冲击试验时应带支架进行。

对DUT进行振动试验时应妥善地将样品安装在振动台面上，将安装方法记录在报告中。正弦振动和正弦加随机的正弦部分扫频速率为0.5 oct/min。推荐的振动试验主要用于避免因疲劳引起的失效和损坏，本部分不包括特殊的磨损试验要求。

在规定频率范围外的负荷应单独考虑。

注：对大而重的DUT，因刚性安装和动态响应,按本部分进行的振动试验负荷的偏差可能导致在振动台上的激励不同于实车，用平均控制方法可以将偏差最小化（见附录A）。

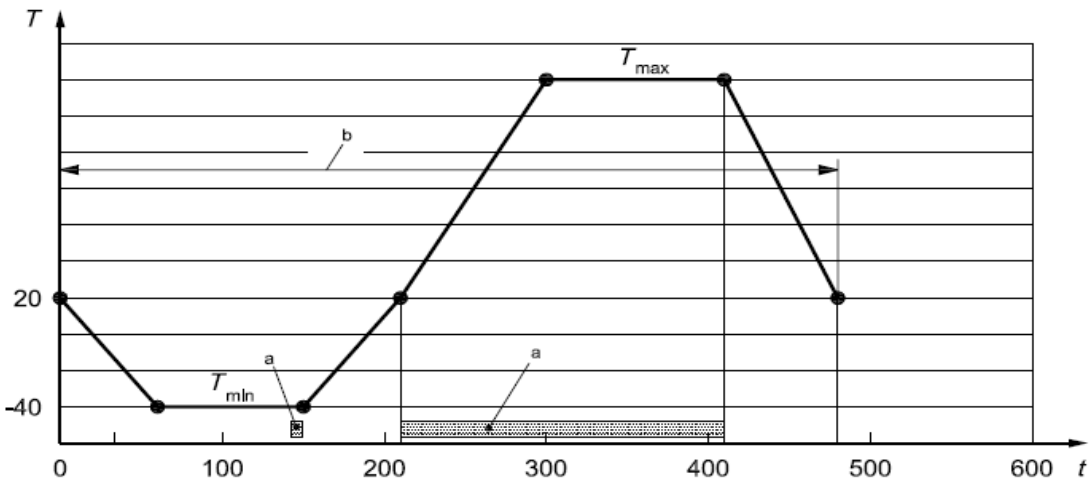
经协商可按GB/T 2423.56采用加权平均值控制方法。

DUT在振动试验期间的温度循环按GB/T 2423.22，按图1通电运行。经协商可在恒温条件下进行试验。

如图1所示在整个装置达到Tmin后使DUT通电运行，用尽可能短的时间检查装置的功能（使DUT的自产热量最小），DUT的附加通电运行在循环的第210min和410min间进行。

对试验箱不允许进行辅助烘干。

因车辆振动应力可能在最低温度或最高温度下同时出现，在试验中模拟机械应力和温度变化应力同时交互作用，失效机理为：例如系统/组件的塑料件经高温变软且不能承受加速度。



其中：
 t 时间, min
 T 温度, °C
 a 工作模式 3.2
 b 一个周期

图 1 振动试验温度曲线

表 1 振动试验温度与时间的对应关系

时间 min	温度 °C
0	20
60	-40
150	-40
210	20
300	T_{\max}^a
410	T_{\max}^a
480	20
^a T_{\max} 见 GB/Txxxx.4	

4.1.2 试验

4.1.2.1 试验 1-乘用车,发动机

4.1.2.1.1 目的

检验DUT因受振动导致的失效和损坏（malfunctions and breakage）。

活塞发动机的振动可以分为两种类型:

一由气缸不平衡质量作用于连杆上产生的正弦振动;

—由发动机其他振动源产生的随机噪声，如阀门的关闭。

考虑到路面粗糙产生的10 ~100 Hz的最低频率,本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

注：发动机悬架系统可有效隔离冲击影响。对安装在发动机上的部件，路面产生的冲击通常可以忽略。

下述条款(4.1.2.1.2~4.1.2.1.3)中规定的试验描述适用于四冲程往复发动机。

建议采用 GB/T 2423. xx规定的混合振动试验替代上述试验。

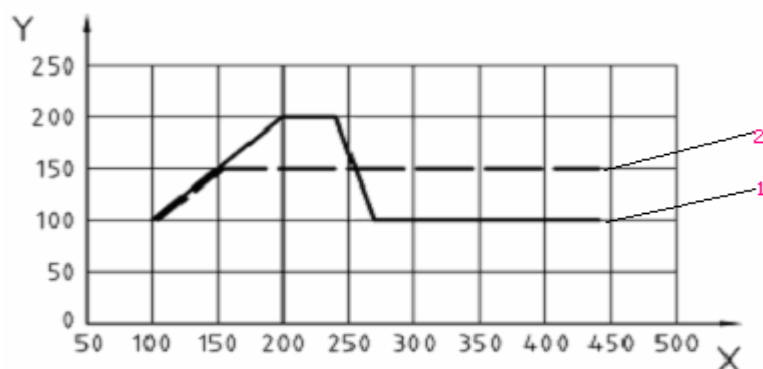
4.1.2.1.2 试验

4.1.2.1.2.1 正弦振动

按 GB/T 2423. 10 进行试验, 不同于 GB/T 2423. 10 的是扫频速率等于或低于 0.5oct/min。DUT 每个面的试验持续时间为 22h, 加速度幅值和频率按图 2 和表 2 规定。

注:试验持续时间按附录A.4,当试验结束时(2.75 温度循环),试验箱的温度高于室温。

- 使用图2和表2中曲线1的DUT装在五缸或少于五缸的发动机上;
-使用图2和表2中曲线2的DUT装在六缸或多于六缸的发动机上;
两条曲线组合可以覆盖所有类型的发动机。



其中:

X 频率, Hz

1 曲线 1 (≤ 5 缸的发动机)

Y 最大加速度, m/s^2

2 曲线 2 (>5缸的发动机)

图 2 振动严酷度曲线

表2 最大加速度与频率

曲线 1 (见图 2)	
频率 Hz	最大加速度 m/ s ²
100	100
200	200
240	200
270	100
440	100

曲线 2 (见图 2)	
频率 Hz	最大加速度 m/ s ²
100	100
150	150
440	150

二者组合	
频率 Hz	最大加速度 m/ s ²
100	100
150	150
200	200
240	200
255	150
440	150

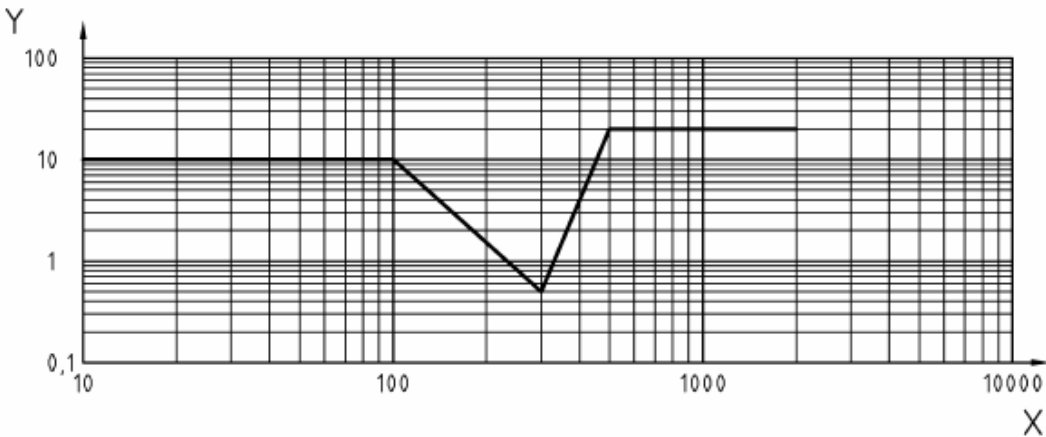
4.1.2.1.2.2 随机振动

按GB/T 2423.56进行试验，DUT每个面的试验持续时间为22h。

注:试验持续时间基于附录A.4,当试验结束时(2.75温度循环),试验箱的温度高于室温。

加速度均方根 (r.m.s) 值应为181 m/s²。加速度功率谱密度 (PSD) 与频率见图3和表3所示。

注：在正弦振动频率范围内PSD值(随机振动)被减小。



其中：

X 频率, Hz

Y PSD, (m/s²)²/Hz

图 3 PSD 与频率

表 3 PSD 与频率

频率 Hz	PSD (m/s ²) ² /Hz
10	10
100	10
300	0.51
500	20
2 000	20

4.1.2.1.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/Txxxx.1 定义的工作模式 3.2 下达到功能状态 A，其他工作模式下达到功能状态 C。

4.1.2.2 试验II- 乘用车，变速箱

4.1.2.2.1 目的

检验DUT因受振动导致的故障和损坏。

变速箱的振动可以分为两种类型：由不平衡质量产生的频率范围在100 Hz ~ 440 Hz的正弦振动和由齿轮摩擦产生的振动及其它随机振源。考虑到路面粗糙产生的10 ~100 Hz的最低频率，本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

下述条款中规定的试验描述用于变速箱振动产生的负荷，换挡引起的机械冲击应单独考虑。

建议采用 GB/T 2423. xx规定的混合振动试验替代上述试验。

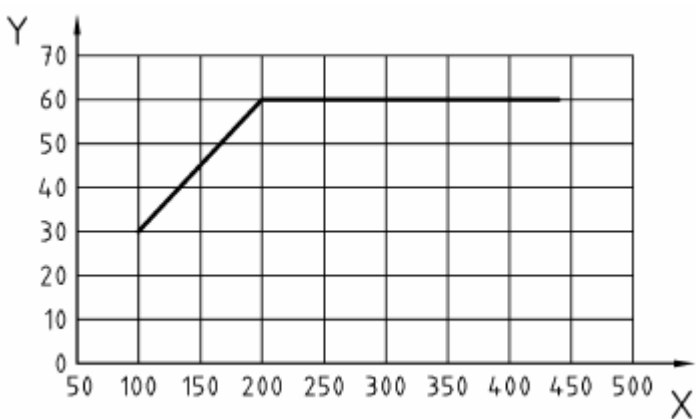
4.1.2.2.2 试验

4.1.2.2.2.1 正弦振动

按GB/T 2423. 10 进行试验，不同于GB/T 2423. 10的是扫频速率等于或低于0.5oct/min。DUT每个面的试验持续时间为22h。

注:试验持续时间按附录A.4,当试验结束时（2.75温度循环），试验箱的温度高于室温。

加速度幅值和频率按图4和表4规定。



其中:
X 频率, Hz
Y 最大加速度, m/s²

图 4 最大加速度与频率

表 4 最大加速度与频率

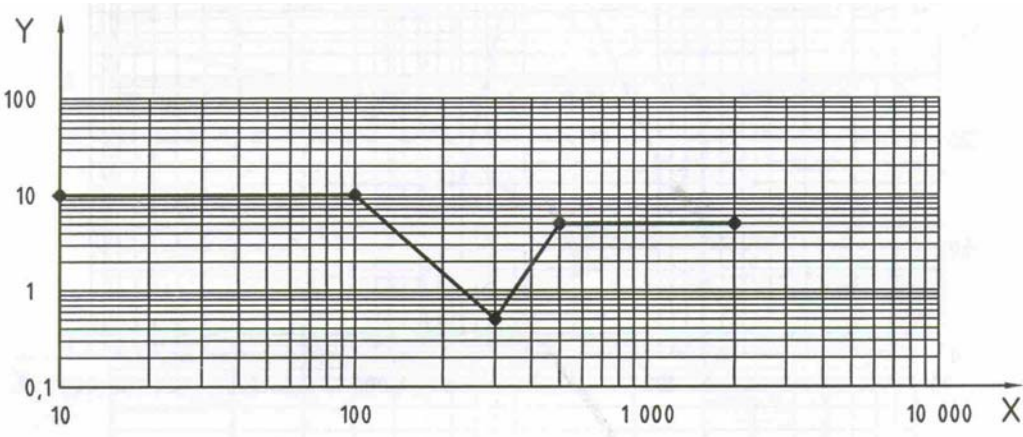
频率 Hz	最大加速度 m/s ²
100	30
200	60
440	60

4.1.2.2.2.2 随机振动

按GB/T 2423. 56 进行试验，DUT每个面的试验持续时间为22h，加速度均方根（r.m.s）值应为 96.6 m/s²。

注：在正弦振动试验的频率范围内，PSD值（随机振动）被降低。

PSD与频率按图5和表5规定。



其中:
X 频率, Hz
Y PSD, (m/s²)²/Hz

图5 PSD与频率

表5 PSD与频率

频率 Hz	PSD (m/s ²) ² /Hz
10	10
100	10
300	0.51
500	5
2 000	5

4.1.2.2.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T××××. 1 定义的工作模式 3. 2 下达到功能状态 A，其他工作模式下达到功能状态 C。

4.1.2.3 试验III-乘用车,柔性增压室(flexible plenum chamber)

4.1.2.3.1 目的

检验DUT因受振动导致的失效和损坏。

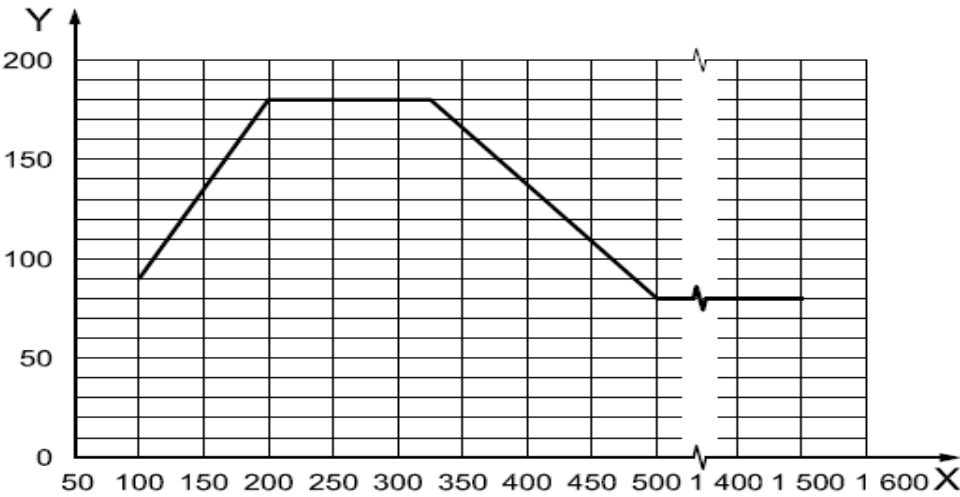
本试验适用于非刚性地安装在柔性的增压室上的设备。此位置的振动主要是由入口气体的颤动引起的正弦振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

4.1.2.3.2 试验

按GB/T 2423. 10进行试验，不同于GB/T 2423. 10的是扫频速率等于或低于0.5oct/min。DUT每个面的试验持续22h。

注:试验持续时间按附录A.4,当试验结束时（2.75温度循环），试验箱的温度高于室温。

加速度幅值和频率按图6和表6规定。



其中:

- X 频率, Hz
- Y 最大加速度, m/s²

图6 最大加速度与频率

表6 最大加速度与频率

频率 Hz	最大加速度 m/s ²
100	90
200	180
325	180
500	80
1 500	80

4.1.2.3.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T××××. 1 定义的工作模式 3. 2 下达到功能状态 A，其他工作模式下达到功能状态 C。

4.1.2.4 试验 IV-乘用车,弹性体(车身)

4.1.2.4.1 目的

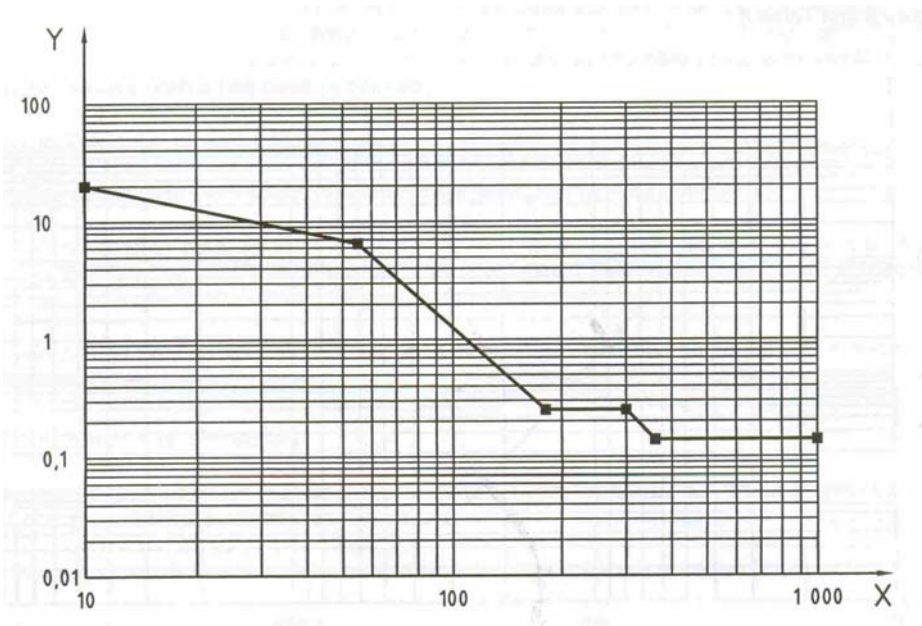
检验DUT因受振动导致的失效和损坏。

车身的振动是由在粗糙路面行驶引起的随机振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

4.1.2.4.2 试验

按GB/T 2423. 56 进行随机振动试验，DUT每个面的试验持续 8h，加速度均方根（r.m.s）值应为 27.8m/s²。PSD与频率按图 7 和表 7 规定。

注: 试验持续时间按附录A.5.



其中:

X 频率, Hz

Y PSD, (m/s²)²/Hz

图 7 PSD 与频率

表 7 PSD 与频率

频率 Hz	PSD (m/s ²) ² /Hz
----------	---

10	20
55	6.5
180	0.25
300	0.25
360	0.14
1 000	0.14

4.1.2.4.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/Txxxx. 1 定义的工作模式 3.2 下达到功能状态 A，其他工作模式下达到功能状态 C。

4.1.2.5 试验 V-乘用车,非弹性体（车轮，车轮悬挂）

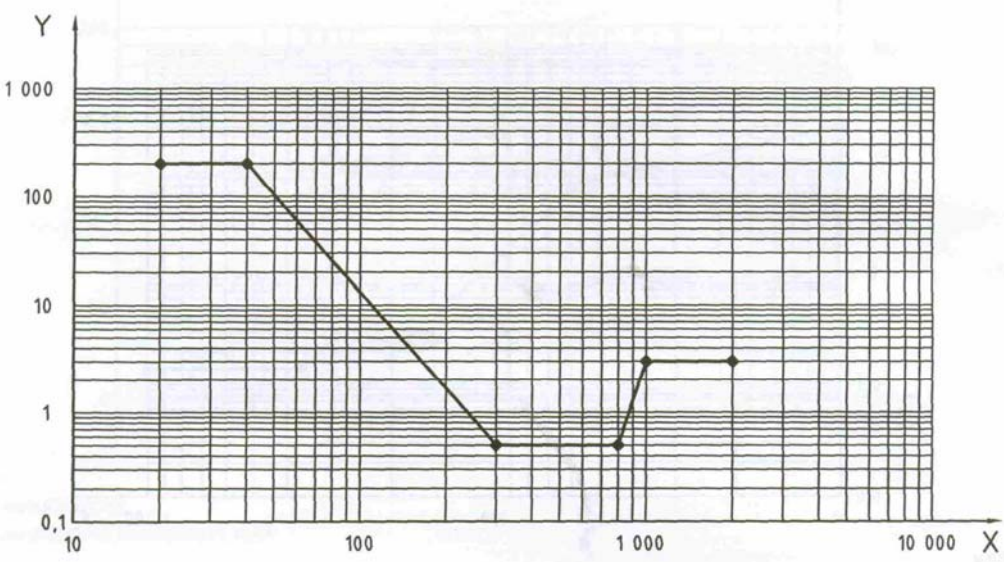
4.1.2.5.1 目的

检验DUT因受振动导致的失效和损坏。
非弹性体的振动是在粗糙路面行驶引起的随机振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。
本试验没有包括频率低于20 Hz的负荷。实际上大振幅可能发生在频率低于20 Hz，在此频率范围对DUT作用的负荷应单独考虑。

4.1.2.5.2 试验

按GB/T 2423. 56 进行随机振动试验，DUT每个面的试验持续8h，加速度均方根（r.m.s）值应为107.3m/s²。PSD与频率见图8和表8所示。

注: 试验持续时间基于附录A.5.



其中：
X 频率, Hz
Y PSD, (m/s²)²/Hz

图 8 PSD 与频率

表8 PSD与频率

频率 Hz	PSD (m/s ²) ² /Hz
----------	---

20	200
40	200
300	0.5
800	0.5
1 000	3
2 000	3

4.1.2.5.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T××××. 1 定义的工作模式 3. 2 下达到功能状态 A，其他工作模式下达到功能状态 C。

4.1.2.6 试验VI-商用车发动机、变速箱

4.1.2.6.1 目的

检验DUT因受振动导致的失效和损坏。

活塞发动机的振动可以分为两种类型：

- 一由气缸不平衡质量作用于连杆上产生的正弦振动；
- 一由发动机其他振动源产生的随机噪声，如阀门的关闭。

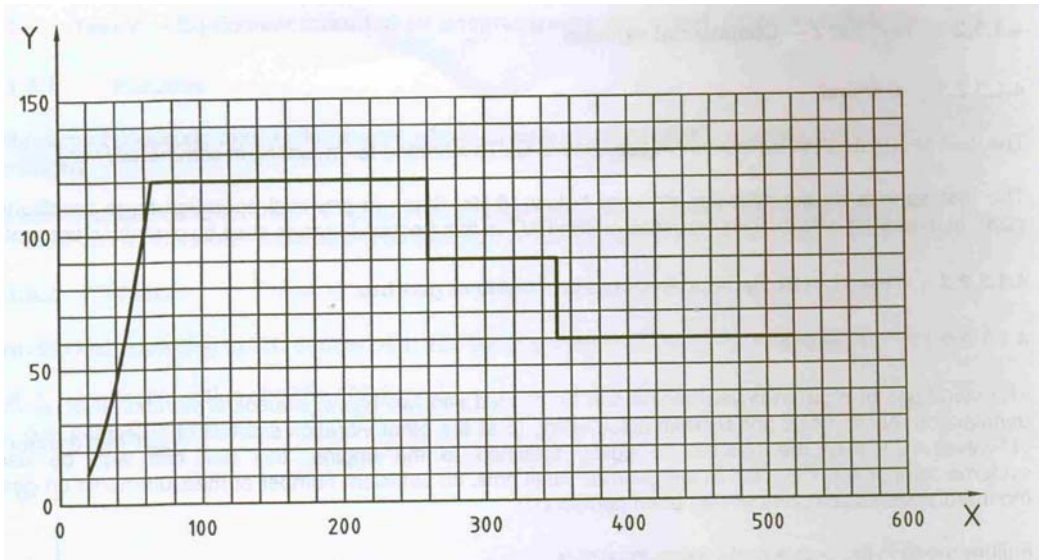
因变速箱刚性地附于发动机上，本试验也可用于安装在变速箱上的系统/组件（目前安装在变速箱上的系统/组件没有充分的测量数据），本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

如下试验描述适于由四冲程往复发动机产生的负荷。建议采用GB/T 2423. xx规定的混合振动试验替代上述试验。如果DUT的固有频率低于30 Hz，应对DUT所有的关键面附加32h的试验。

4.1.2.6.2 试验

4.1.2.6.2.1 正弦振动

按GB/T 2423. 10 进行试验，不同于GB/T 2423. 10的是扫频速率等于或低于0.5oct/min。DUT每个面的试验持续94h（约20 h / 倍频程）。 加速度幅值和频率按图9和表9 规定。



其中：

- X 频率, Hz
- Y 最大加速度, m/s²

图9 最大加速度与频率

表9 最大加速度与频率

频率 Hz	位移幅值 mm	最大加速度 m/s ²
20	0.72	(11.4)
65	0.72	120
260		120
260		90
350		90
350		60
520		60

4.1.2.6.2.2 随机振动

按GB/T 2423.56进行随机振动试验。

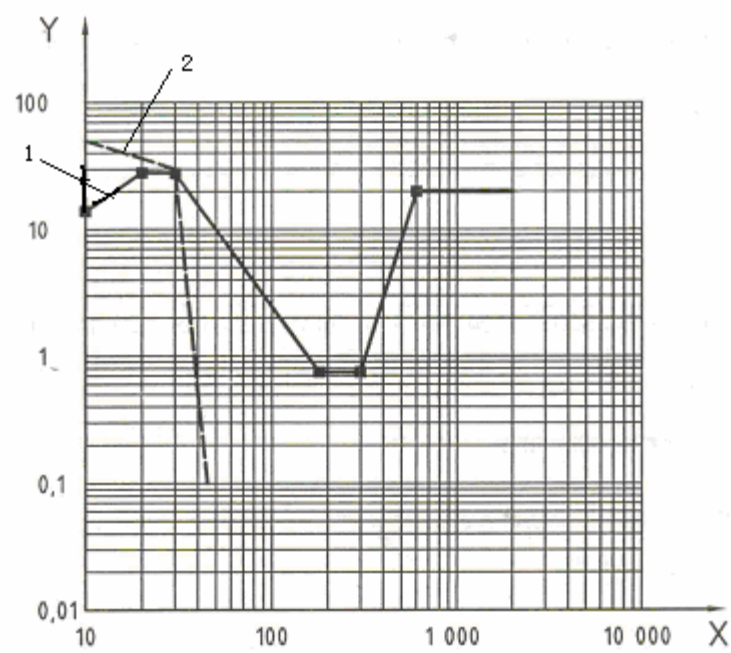
试验持续时间为：

——一般情况：DUT每个面的试验持续时间为94h（见图10和表10）；

——固有频率低于30 Hz时：DUT的每个关键面附加32h（见表11）。

注：在正弦振动试验的频率范围内，PSD值（随机振动）被降低。

PSD和频率见图10和表10、11。



其中：

X 频率, Hz

1 一般情况下的随机试验曲线

Y PSD, (m/s²)²/Hz

2 < 30 Hz 的附加曲线

图 10 PSD 与频率

表 10 PSD 与频率

频率	PSD
----	-----

Hz	$(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$
10	14
20	28
30	28
180	0.75
300	0.75
600	20
2 000	20
注：加速度均方根（r.m.s）值为 177m/s^2	

表11 PSD与频率（固有频率低于30 Hz的附加试验）

频率 Hz	PSD $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$
10	50
30	30
45	0.1
注：加速度均方根（r.m.s）值为 28.6 m/s^2	

4.1.2.6.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T××××. 1 定义的工作模式 3. 2 下达到功能状态 A，其他工作模式下达到功能状态 C。

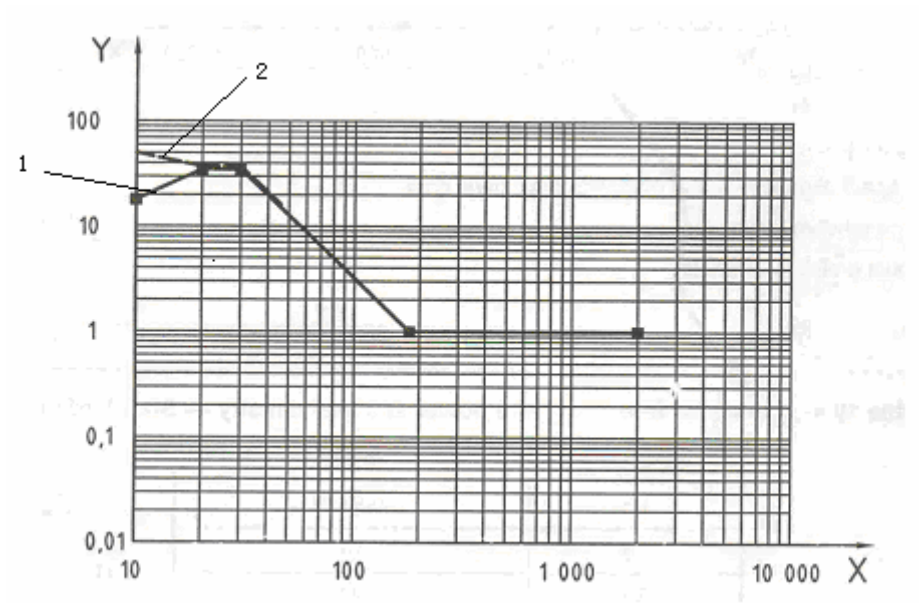
4.1.2.7 试验VII- 商用车，弹性体

4.1.2.7.1 目的

检验DUT因受振动导致的故失效和损坏。
弹性体的振动是由在粗糙路面行驶引起的随机振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

4.1.2.7.2 试验

按GB/T 2423.56进行随机振动试验， DUT每个面的试验持续时间为32h。PSD与频率按图11和表12、13 规定。



其中：

X	频率, Hz	1	一般情况下的随机试验曲线
Y	PSD, (m/s ²) ² /Hz	2	< 30 Hz的附加试验曲线

图 11 PSD 与频率

表 12 PSD 与频率

频率 Hz	PSD (m/s ²) ² /Hz
10	18
20	36
30	36
180	1
2 000	1

注：加速度均方根（r. m. s）值为57.9 m/s²

表 13 PSD 与频率（固有频率低于 30 Hz 的附加试验）

频率 Hz	PSD (m/s ²) ² /Hz
10	50
20	36
30	36
45	16

注：加速度均方根（r. m. s）值为33.7m/s²

4.1.2.7.3 要求

不允许出现损坏。在GB/Txxxx.1定义的工作模式3.2下达到功能状态A，其他工作模式下达到功能状态C。

4.1.2.8 试验VIII- 商用车，分离的驾驶室（decoupled cab）

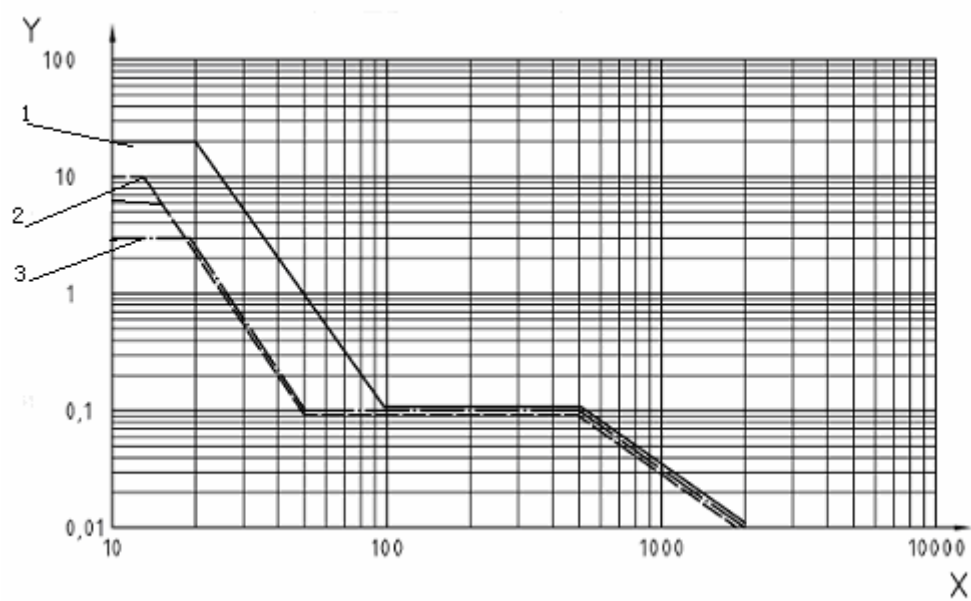
4.1.2.8.1 目的

检验DUT因受振动导致的失效和损坏。

商用车分离驾驶室的振动是由在粗糙路面行驶引起的随机振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

4.1.2.8.2 试验

按GB/T 2423.56进行随机振动试验，DUT每个面的试验持续32h。PSD与频率按图12和表14规定。



其中

- X

频率, Hz
- Y

PSD, (m/s²)²/Hz
- 1

垂直
- 2

横向
- 3

纵向

图 12 PSD 与频率

表14 PSD与频率

频率 Hz	PSD (m/s ²) ² /Hz		
	垂直	纵向	横向
10	20	3	10
13	—	—	10
19	—	3	—
20	20	—	—
50	—	0.1	0.1
100	0.1	—	—
500	0.1	0.1	0.1
2 000	0.01	0.01	0.01
加速度均方根 (r.m.s) 值	21.3 m/s ²	11.8 m/s ²	13.1 m/s ²

4.1.2.8.3 要求

不允许出现损坏。在GB/T××××.1定义的工作模式3.2下达到功能状态A，其他工作模式下达到功能状态C。

4.1.2.9 试验 IX-商用车，非弹性体

4.1.2.9.1 目的

检验DUT因受振动导致的失效和损坏。

非弹性体上的振动是由在粗糙路面行驶引起的振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

4.1.2.9.2 试验

按 4.1.2.7.2 试验 VII 的随机振动试验进行，按如下规定进行正弦振动试验。正弦振动试验在室温下进行。

按表15 规定的车轮和车轮悬挂（wheel suspension）上的最大加速度幅值及相应频率进行试验。如果DUT的固有频率大于等于40Hz（DUT固有频率低于40Hz可排除在外），试验按表16的35 Hz频率，在电动-机械试验台上进行。

表15 最大加速度和频率（ DUT最低固有频率< 40 Hz）

车辆平面方向	频率 Hz	最大加速度 m/s ²	持续时间 min	循环数（近似值）
纵向，横向	8 - 16	150	4	2 800
	8 - 16	120	10	7 000
	8 - 32	100	20	21 000
垂直	8 - 16	300	4	2 800
	8 - 16	250	10	7 000
	8 - 32	200	20	21 000

表16 最大加速度和频率（ DUT最低固有频率≥40 Hz）

车辆平面方向	频率 Hz	最大加速度 m/s ²	循环数（近似值）
纵向，横向	35	150	2 800
	35	120	7 000
	35	100	21 000
垂直	35	300	2 800
	35	250	7 000
	35	200	21 000

4.1.2.9.3 要求

不允许出现损坏。在GB/T××××.1定义的工作模式3.2下达到功能状态A，其他工作模式下达到功能状态C。

4.2 机械冲击

4.2.1 装在门和盖板(flaps) 内/上装置的试验

4.2.1.1 目的

检验 DUT 因受冲击导致的失效和损坏。

当门被关闭撞击时出现机械冲击。失效模式为机械损坏（damage）（例如门撞击产生的高加速度使电子控

制模块壳内的电容器分离)。

4.2.1.2 试验

按表17选择一种曲线且按GB/T 2423. 6进行试验。采用下列试验参数：

- DUT工作模式：1.2（见GB/T××××.1）。
- 冲击脉冲型式：半正弦波。

DUT 应固定在冲击试验台上，加速度作用方向与 DUT 装车使用发生冲击加速度的方向相同。

表 17 冲击次数

	冲击曲线 1	冲击曲线 2
	500 m/s ² , 11 ms	300 m/s ² , 6ms
驾驶员门，货舱门	13 000	100 000
乘客门	6 000	50 000
箱盖，挡板	2 400	30 000
发动机罩	720	3 000

4.2.1.3 要求

功能状态应达到 GB/T××××.1 定义的 C 级。

4.2.2 装在车身和车架刚性点上装置的试验（rigid points on the body and on the frame）

4.2.2.1 目的

检验 DUT 因受车身或车架冲击导致的失效和损坏。

负荷发生在高速驾驶越过路边石头的情况下。失效模式为机械损坏（例如由于高加速度冲击使电子控制模块壳内的电容器分离）。

4.2.2.2 试验

按GB/T 2423.06，采用下列参数进行试验：

- DUT工作模式：3.2（见GB/T××××.1）。
- 冲击脉冲型式：半正弦波。
- 加速度：500 m/s²
- 持续时间：6 ms。
- 冲击次数：每个试验方向10次。

冲击试验的加速度方向应与车辆发生冲击实际产生的加速度方向相同。如果实际方向未知，DUT 应在所有 6 个方向上进行试验。

4.2.2.3 要求

功能状态应达到 GB/T××××.1 定义的 A 级。

4.2.3 在变速箱内/上装置的试验

4.2.3.1 目的

检验 DUT 因受换档冲击导致的失效和损坏，适用于专门装在变速箱内/上的 DUT。

负荷发生在气动助力换档操作中。失效模式为机械损坏（例如，由气动助力换档操作产生的高加速度冲击使电子控制模块壳内的电容器分离）。

4.2.3.2 试验

按GB/T 2423. 6，采用下列参数进行试验：

- DUT工作模式：3.2（见GB/T××××.1）；
- 冲击脉冲型式：半正弦波；
- 典型最大加速度：商用车3000 m/s²～50000m/s²，乘用车由供需双方协商；
- 典型持续时间：< 1 ms。
- 冲击次数：由供需双方协商。
- 温度：由供需双方协商。

商用车的上述参数主要用于气动助力换挡操作（如果安装了 range-change 系统，150000 次换挡操作是有代表性的）。

实际冲击应力由变速箱的安装位置和设计特点决定，也有个别情况是由相应的测量手段决定（推荐取样频率至少为 25 kHz）。试验须由生产商和用户合作进行。

试验时冲击加速度应与在车上实际工作时所受的冲击加速度方向一致。如果实际方向未知，DUT应在所有6个方向上进行试验。

4.2.3.3 要求

功能状态应达到 GB/T××××.1 定义的 A 级。

4.3 自由跌落

4.3.1 目的

检验 DUT 因自由跌落导致的失效和损坏。

系统/组件在加工处理过程中可能跌落到地面（例如，在汽车生产商的生产线上）。如果跌落后系统/组件有明显的损坏要被更换，如损坏不明显，就会被装上车，然后按正常的产品要求工作。失效模式为机械损坏（例如，DUT落到地面产生的高加速度使电子控制模块壳内的电容器分离）。

4.3.2 试验

跌落后明显会损坏的部件不予考核（如前照灯），能耐受跌落冲击而无明显损坏的部件应进行如下试验：

按GB/T 2423. 8，采用如下试验参数进行试验：

- DUT数量: 3;
- 每个DUT跌落次数: 2;
- 落差： 1m自由跌落或按协议高度；
- 撞击面：混凝土地面或钢板；
- DUT方向 :每个 DUT的第1次跌落应在不同的空间轴向，第2次跌落与第1次的空间轴向相同，但方向相反。
- DUT 工作模式:1.1（见GB/T××××.1）；
- 温度：由供需双方协商。

跌落试验后目视检查 DUT 。

4.3.3 要求

不允许有隐性损坏，在不影响DUT性能的情况下允许外壳有微小损坏，特有性能将在后续试验证实（Proper performance shall be proven following the test.）。

功能状态应达到GB/T××××.1定义的C级。

4.4 外表强度/划痕和耐磨性能

试验和要求由供需双方协商(例如控制部件和钥匙上的标记和商标应保持清晰可见)。

附录 A
(资料性附录)
振动试验曲线建立指南

A.1 目的

该指南用于确保本标准的使用者根据振动测量结果按照可再现的方法建立试验曲线，从而消除误差。

A.2 概述

建立试验曲线的过程应采用所推荐的文件加以描述。

建立试验曲线的过程在表 A.1 中描述。

A.3 平均控制方法

通常安装在车辆上与安装在振动台面上的 DUT 的频率响应有所不同。这是由于两种情况下的安装刚度和动态反馈不同。

为能在实验室中再现振动试验，振动夹具应尽可能地硬，通常比在汽车上硬得多。应考虑到 DUT 在振动夹具上的各个安装点的运动是同向的，而其在汽车里安装点的运动在特定的频率上可能不是同向的。这是因振动试验夹具比在车辆上的安装部位有更高的刚度。

此外，在振动试验期间 DUT 的动态反馈（激励衰减）通过振动控制单元被最小化。

至少对于大/重的 DUT 在共振状态下，类似的激励在振动台试验时比在汽车里产生更大的响应峰值。

为避免过试验，需采用 GB/T 2423.56 中相关的平均控制方法。

额外推荐：平均控制信号=（3×激励）+（1×DUT响应）

表A.1 振动试验曲线建立

术语	文件 车辆描述	推荐的文件/参数 技术数据（即：功率、最大 r/min、标称速度、体积、 发动机种类、汽缸尺寸）	注解
发动机安装	边界条件	测力计和/或道路	满负荷
车身安装		试验场地/试验轨迹描述	
		路面（即：比利时石块、搓板、斜脊 跳跃hip hop）	
		驾驶速度	
车辆数据采集	采样速率	≥ fmax 的2.5 倍	Df = 1/ (f _{sample} × b)
	数据块长度, b	≥2k	
	分辨率	LSB <最大值的0.1%	LSB=最小的有效位
	滤波技术和方法	在 fmax 抗混淆滤波衰减率>48 dB/oct 高通滤波 (ffilter < fmin)消除支流偏置	
数据分析	峰值保持 FFT	峰值保持	参照建立正弦试验或 正弦加随机试验的正 弦部分
	加窗	对稳态信号（不含瞬态信号）加汉宁（Hanning）窗	
		对瞬态信号不加窗（峰值因子>6）	
	关于速度/时间的 r, m, s		

	信号特征（信号的 正弦/随机部分	具有最大 r. m. s 值的窗函数计算平均 PSD	参照建立随机试验或 正弦加随机试验的随 机部分
		瀑布图	
		稳态信号的自相关	
试验曲线建立	用于建立试验曲 线的方法与过程	如：描述包括数据压缩（平均或取包络）在内的所有 关键点	
	用于确定试验持 续时间的方法和 过程	说明将试验应力和试验时间用于相关场合的应力和工 作寿命的假设和模型。正如有 MIL 810 标准中采用的 基于最严酷材料的 M-值。	M-值 =S/N 曲线的梯 度（应力对应的数字）
	发动机上安装的 部件	考虑 r/min 的分布	
	车身上安装的部 件	考虑劣质路面条件的里程数	
	过程和工程评价 方法的基本原理		
	试验参数	例如：在第 4.1.3 中的试验	

A. 4 发动机转速分布

指发动机转速（r/min）与振动量级的一般关系。振动量级随着发动机转速的提高而增加（见图A.1和表A.2）。

疲劳试验中，最大加速度量级需要充分考虑发动机转速的范围。通常的范围在0.9n_{nominal}与n_{max}之间。n_{nominal}为发动机最大功率时的转速，n_{max}为发动机最大安全转速。

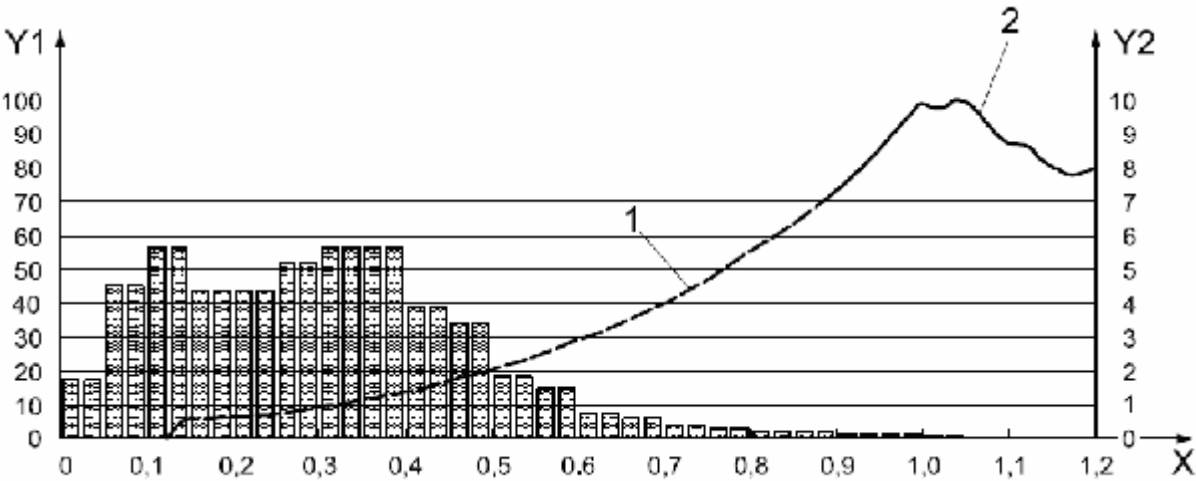
评估试验持续时间，应考虑不同的转速分布和车辆寿命。所有可利用的转速分布表明，转速范围从0.9n_{nominal}到n_{max}之间一般是不常使用的。

本标准选择三种分布：

- a) SAE出版物（SAE2005-01-1071）的转速分布。其中调查了55辆车（70000km，10000次往返）。
- b) 在温度测量期间记录下来的达到很高温度的“最差情况”的转速分布，这时车辆工作的转速非常高。
- c) 一种有利的分布，组成如下；
 - 1) SAE出版物 = 80% ；
 - 2) “最差情况” = 20% 。

这就导出转速范围从0.9n_{nominal}到n_{max}之间的0.5%相对分布。每个轴向试验22h, 相当于车辆4400h的寿命，若平均时速40km/h，则表示176000km里程。考虑到其它寿命，里程和转速分布情况，允许试验工程师适当地改变试验持续时间。

根据实际情况建议每个轴向最长的试验时间为100h。这段时间对于多数振动环境容易达到等效疲劳损伤。



其中：

X r/min — n_{nominal}

Y1 r.m.s. — %

Y2 r/min — 概率（有利分布），%

1 r.m.s. 对应 $n \leq 0.9n_{\text{nominal}}$ 转速的量级

2 r.m.s. 对应 $n > 0.9n_{\text{nominal}}$ 转速的量级

图 A.1 对应发动机转速r.m.s.加速度量级和有利的转速分布

表 A.2 对应发动机转速 r.m.s.加速度量级和有利的转速分布

n/n_{nominal}	r.m.s. 量级对应 r/min %	r/min 概率 ^a (p_x) %	r/min概率 ^b (p_x') %	有利的 r/min 分布 ^c ($20p_x + 80p_x'$)/100
0.050	—	0.56	2.14	1.82
0.075	—	0.56	2.14	1.82
0.100	—	0.02	5.69	4.56
0.125	—	0.02	5.69	4.56
0.150	7.0	8.00	5.09	5.67
0.175	6.3	8.00	5.09	5.67
0.200	6.1	5.75	4.04	4.38
0.225	7.2	5.75	4.04	4.38
0.250	7.4	3.06	4.73	4.40
0.275	8.4	3.06	4.73	4.40
0.300	10	4.70	5.31	5.19
0.325	11	4.70	5.31	5.19
0.350	12	5.69	5.61	5.62
0.375	13	5.69	5.61	5.62
0.400	14	5.06	5.72	5.59
0.425	15	5.06	5.72	5.59
0.450	17	3.95	3.85	3.87
0.475	18	3.95	3.85	3.87
0.500	20	3.23	3.48	3.43
0.525	22	3.23	3.48	3.43
0.550	24	2.26	1.71	1.82
0.575	26	2.26	1.71	1.82

0.600	29	1.56	1.39	1.42
0.625	31	1.56	1.39	1.42
0.650	34	1.34	0.55	0.71
0.675	36	1.34	0.55	0.71
0.700	39	1.20	0.39	0.55
0.725	42	1.20	0.39	0.55
0.750	46	1.00	0.19	0.35
0.775	50	1.00	0.19	0.35
0.800	54	0.79	0.09	0.23
0.825	59	0.79	0.09	0.23
0.850	63	0.57	0.03	0.14
0.875	67	0.57	0.03	0.14
0.900	72	0.40	0.01	0.08
0.925	77	0.40	0.01	0.08
0.950	84	0.31	0.00	0.06
0.975	90	0.31	0.00	0.06
1.000	98	0.22	0.00	0.04
1.025	96	0.22	0.00	0.04
1.050	100	0.19	0.00	0.04
1.075	92	0.19	0.00	0.04
1.100	86	0.06	0.00	0.01
1.125	85	0.06	0.00	0.01
1.150	79	0.04	0.00	0.01
1.175	77	0.04	0.00	0.01
1.200	79	0.02	0.00	0.00
1.225	79	0.02	0.00	0.00
a “最差情况”分布； b SAE出版物； c 累加有利的 r/min 分布 ($n > 0.9 N_{\text{nominal}}$) 是 0.5 %; 22 h 的试验持续时间相当于在车辆上 4 400 h。				

A.5 疲劳计算

A.5.1 乘用车、车身安装（弹性体）示例

验证 8h 的随机振动试验是否足以覆盖该车寿命期间的应力。

注：测量和计算在一个 ECU 上进行。目的是给出一个例子，所提供的方法对 ECU 和车身安装部件均无限制。

A.5.2 步骤

A.5.2.1 在进行道路行驶试验（道路颠簸）的车辆上做振动测量。对 ECU 进行随机振动试验时，至少设置 2 个测量点。一个点在 ECU 的安装位置（输入或者激励），一个点测量印刷电路板（PCB）的响应。

A.5.2.2 在测量期间通过周期计算方法确定在 PCB 上的负荷分布（见 A.5.5、A.5.6 和图 A.2）。

A.5.2.3 选择汽车寿命周期和“劣质道路百分数”（二者均为选择的参数）。

A.5.2.4 将下列因子与计数结果相乘计算预期的 PCB 负荷的分布：

- 试验时持续时间/测量次数；
- 车辆寿命×劣质道路百分数/车辆上测量时间。

A.5.2.5 这种新的负荷分布用于计算疲劳极限，该计算是基于出现 1 个损坏：

—— “沃勒（Woehler）假定”和修改（“Haibach”）。和

——“线性损伤累积的帕姆格伦-迈因纳 (Palmgren - Miner) 定理假定”(详细资料见 A. 5. 7 和图 A. 3)。

——表 A.5 所示的疲劳计算简略结果作为应力不同模式对应的负荷循环数(S/N 模式)。

A.5.3 结论

A.5.3.1 概述

选择示例的结果显示：8h 试验持续时间试验结果的应力（疲劳极限）比车辆 5 400h 道路行驶试验应力高大约 1.7（1.37~2.06）倍。这样的测量和计算已经在许多方面应用了 20 年以上，结果始终是相近的，8h 的试验持续时间确认是足够的。

A.5.3.2 附加证明

根据野外场地经验，在 20 多年时间内还没有经历因为振动而引起的失效。选择试验场和劣质的公共道路测量之间进行比较，证明试验场比劣质的公共道路严酷得多。

选择的参数（6 000h 的车辆寿命，90%的劣质道路部分）绝对是最坏的情况。通常采用小于劣质道路 50%的部分进行计算。

A.5.4 试验参数

试验参数如下：

- 试验设备：电动振动台；
- 安装：ECU 牢固地固定在振动台面上；
- 控制点：在振动台面上；
- 方向：C，垂直于 PCB 方向；
- r.m.s.加速度值：33 m/s² ；
- 试验谱：见下面（表 A.3）。

表 A.3 随机振动试验示例,参数

频率 Hz	PSD ^a (m/s ²) ² /Hz
10	20
30	20
200	0,5
1 000	0,1
a 选择的谱密度与第4. 1. 2. 4. 2条中有些细微的不同；在 ECU 的共振点上（大约600Hz）差异是可以忽略的。	

A.5.5 结果

表 A.4 显示的试验结果基于下列参数：

- 负荷分布通过 19.91s 的测量，对 8h 试验的计算。
- 负荷分布通过用 3.69s 在粗糙路面（道路颠簸，50km/h）的测量，对 5400h 试验的计算（车辆寿命 6 000 h，粗糙道路占 90%）

表 A.4 试验结果

8 h 随机振动试验		5 400 h 劣质道路行驶	
加加速度量级 a_i m/s ²	每个量级周期数 n_i	加加速度量级 a_i m/s ²	每个量级周期数 n_i
403.4	6 509	403.4	6 509
377.4	9 402	377.4	9 402
351.3	18 082	351.3	18 082
325.3	43 396	325.3	43 396
299.3	104 150	299.3	104 150
273.3	203 237	273.3	203 237
247.2	434 680	247.2	434 680
221.2	721 815	221.2	721 815
195.2	1 160 835	195.2	1 160 835
169.2	1 595 516	169.2	1 595 516
143.1	2 104 692	143.1	2 104 692
117.1	2 438 116	117.1	2 438 116
91.09	2 606 636	91.09	2 606 636
65.06	2 345 538	65.06	2 345 538

表 A.5 对应的负荷周期数(S/N 模式)对应应力不同模式疲劳计算的简略结果

S/N 模式疲 劳周期	S/N模式曲线 的斜率, k	假设	随机振动试验计算的疲劳 水平 (24 “S/N 模式”) m/s ²	5400 h 劣质道路行驶必需的 疲劳水平 (24 “S/N 模式”) m/s ²	比较
2 000 000	3.5	Haibach	250	165	OK
		Miner	229	133	OK
	5	Haibach	246	144	OK
		Miner	236	131	OK
	7	Haibach	252	136	OK
		Miner	249	130	OK
	10	Haibach	267	132	OK
		Miner	266	130	OK
10 000 000	3.5	Haibach	173	126	OK
		Miner	169	112	OK
	5	Haibach	187	118	OK
		Miner	184	112	OK
	7	Haibach	205	116	OK
		Miner	203	113	OK
	10	Haibach	229	117	OK
		Miner	229	115	OK
	3.5	Haibach	112	91	OK
		Miner	112	87	OK

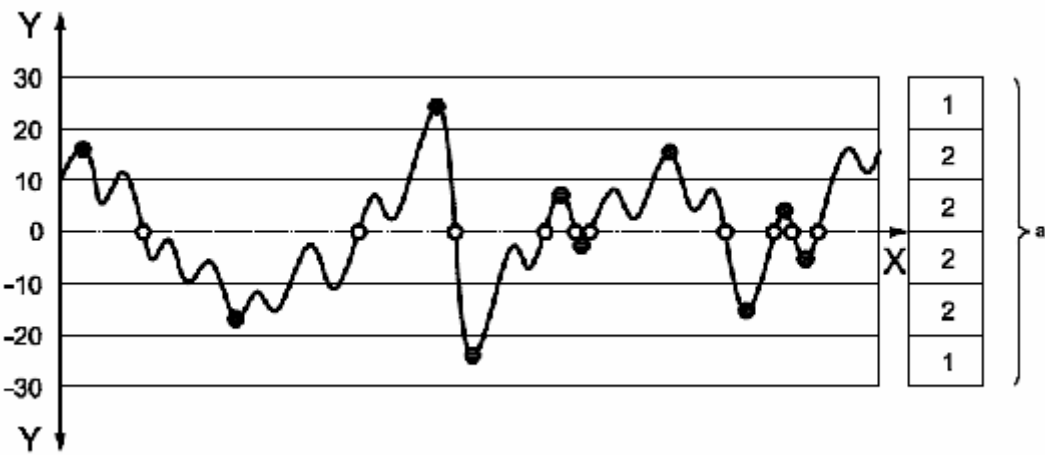
50 000 000	5	Haibach	137	93	OK
		Miner	137	91	OK
	7	Haibach	164	97	OK
		Miner	164	96	OK
	10	Haibach	196	102	OK
		Miner	196	101	OK

A.5.6 通过时间历史记录的测量确定负荷分布

在 2 个过零点之间有一个最大值。在每个加速度量级对测量时间内最大值的个数进行计数。这种计算方法的结果给出各个级别半个周期数，或者说，根据时间历史记录确定负荷分布。

通过每个量级的（试验时间/测量时间）因子获得试验期间的负荷分布，即 $(8\text{h} \times 3\,600\text{s/h})/19.9\text{s}=1477$ 。

通过每个量级的（汽车寿命×劣质路面的百分数/测量时间）因子获得试验期间的负荷分布，即 $(6\,000\text{h} \times 0.9 \times 3\,600\text{ s/h}) /3.69\text{s}=5\,268\,293$ 。



其中：
X 时间
Y 量级，m/s²
a 各振级半周期数

图 A.2 负荷分布的计算方法

A.5.7 疲劳极限的计算

为确定疲劳极限 a_D ，选择S/N 模式。S/N 模式通过斜率 k 和疲劳数 N_D 描述。然后选择任意值为 a_D 的初始值。

选择S/N 模式，可以计算出对应每个振级 a_i 的失效循环数 N_i 及相应的循环数 n_i 。

符合姆格伦- 迈因纳（Palmgren - Miner）假设，在每一振级 a_i ，局部损坏 s_i ，由下述公式确定：

$$s_i = \frac{n_i}{N_i}$$

整体损坏 S ，由下述公式确定：

$$S = \sum s_i$$

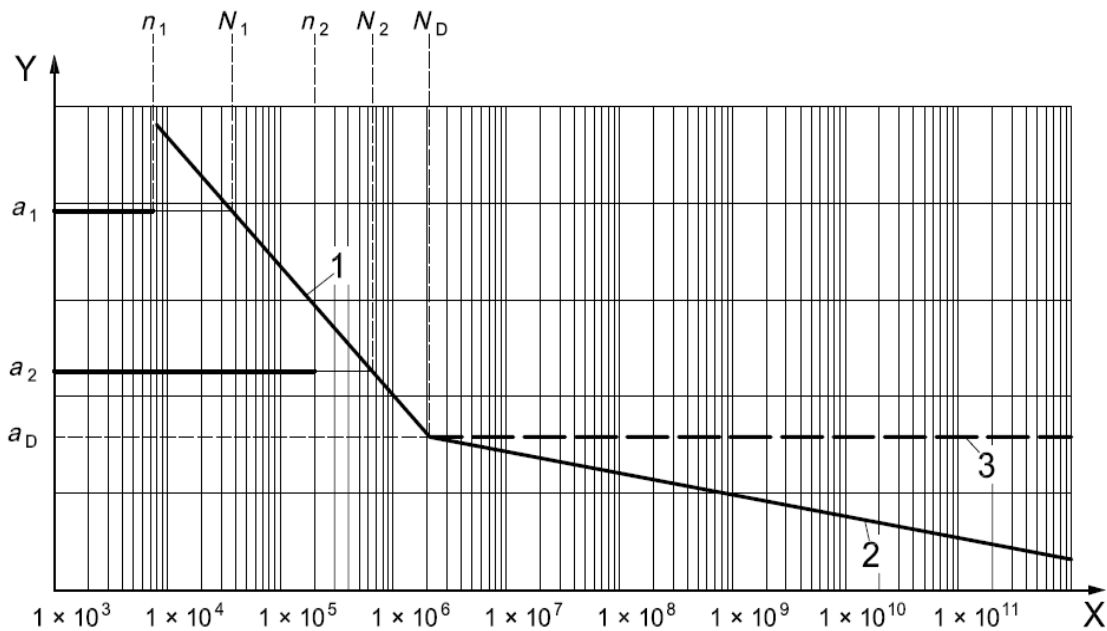
$S \geq 1$ 定义为损坏发生。

任意选择 a_D 的初始值，损坏（ S ）将 < 1 或 > 1 。反复选择 a_D ，直到有 1 个 损坏发生， a_D 值就被确定。

没有非常广泛地调查和试验，不可能知道选择的 S/N 模式是否实际。因此，覆盖宽范围的 S/N 参数（专门的文献）是有意义的。常用的有 24 种模式（“2 种不同的假设”、“4 种斜率 k ”、“3 种疲劳极限周期 N_D ”）。

即使其中的一些模式是不实际的，还会有其他的模式。24 模式中希望至少有一种模式是贴近实际的。无论如何，只要对两种情况（车辆和试验）采用同样的模式或者假设，尽管不尽合理，比较的实质不会产生太大影响，因为在比较中，有些错误的假设会被补偿。

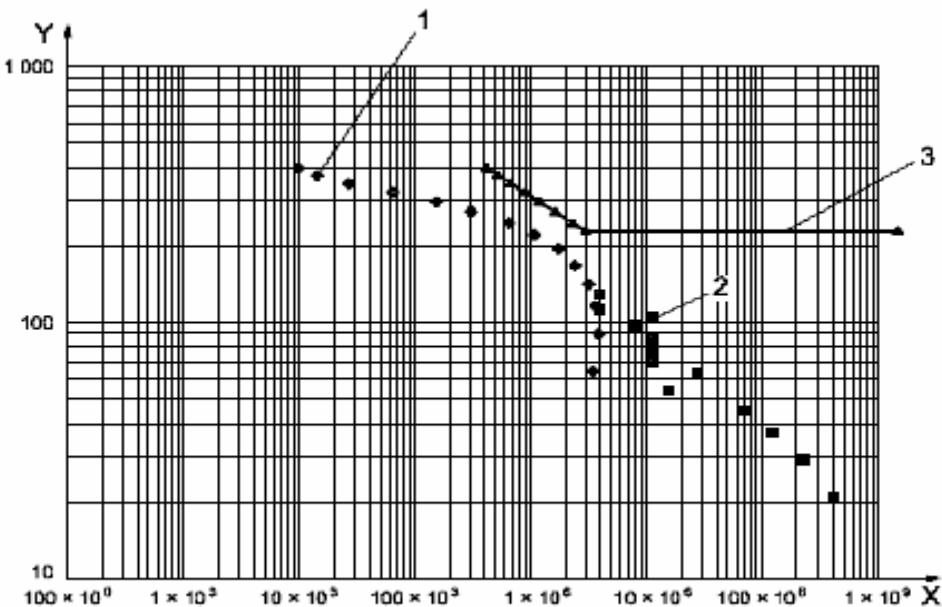
如果所有24个试验获得的 a_D 值均高于车辆需要值，则该应力是被允许的。所选择示例的负荷分布和对应 S/N 图（1个模式）如表A.6和图A.3所示。



- 其中：
- X 周期数
 - Y 加速度量级
 - 1 斜率 k
 - 2 Haibach 修正斜率 $2k-1$
 - 3 损伤线性累积准则（Palmgren-Miner）

表 A.6 图 A.3 Palmgren-Miner 假设——线形损坏累积， S
随机振动试验和试验场测量法负荷分布的比较

随机振动试验 (8h)		对应 S/N 模式曲线图 (2×10^6 , $k=5$, $a_D=229 \text{ m/s}^2$)		车辆测量, 颠簸道路 (5 400h)	
加速度 m/s^2	周期数, n	加速度 m/s^2	S/N 周期数, n	加速度 m/s^2	S/N 周期数, n
403.40	6 509	403.4	276 718	129.40	2 636 719
377.40	9 402	377.4	349 387	112.70	2 636 719
351.30	18 082	351.3	448 993	1004.4	7 910156
325.30	43 396	325.30	587 650	96.04	5 273 438
299.30	104 150	299.3	786 574	87.69	7 910 156
273.30	203 237	273.3	1 081 121	79.34	7 910 156
247.20	434 680	247.2	1 536 185	70.99	7 910 156
221.20	721 815	229.0	2 000 000	62.64	18 457 031
195.20	1 160 835	229.0	1 000 000 000	54.28	10 546 875
169.20	1 595 516	—	—	45.93	47 460 938
143.10	2 104 692	—	—	37.58	84 375 000
117.10	2 438 116	—	—	29.23	152 929 688
91.09	2 606 636	—	—	20.88	271 582 031
65.06	2 345 538	—	—	12.53	690 820 313
39.04	1 823 343	—	—	4.176	3 158 789 063



注:

X 周期数

Y 加速度 m/s^2

1 随机振动试验 (8h)

2 车辆测量

3 随机振动试验对应的沃勒 (Woehler) 曲线图 (2×10^6 、 $k=5$ 、 $a_D=229 \text{ m/s}^2$)

)

附录 B
(资料性附录)
按设备安装位置推荐的机械要求

表 B.1 给出了根据设备安装位置推荐的机械要求。

表 B.1 安装位置

安装位置	推荐的试验和要求 (代码字母见 GB/T××××.1)
发动机舱	
车身	D, K
框架	K, L
柔性而非刚性增压室上	C
柔性而非刚性增压室内	C
在发动机上	A, B, J
在发动机内	A, B, J
在变速箱/减速器上	U, V
在变速箱/减速器内	U, V
乘客舱	
无特殊要求	D, E, K, L,
直接暴露于太阳光辐射下	D, E, K, L,
暴露于热辐射下	D, E, K, L,
行李舱/货舱	
舱内	D, E, K, L,
安装在外部	
车身	D, E, K, L,
框架	K
车身下/车轮罩	
弹性体	D, E, K, L,
非弹性体	H, I, O, T
乘客舱门内/上	F, G, R, S
发动机舱盖	F, G, R, S
行李舱盖/门	F, G, R, S
箱盖/门	F, G, R, S
凹洞内	
敞开朝里	D, E, K, L,
敞开朝外	D, E, K, L,
专用舱内	D, E, K, L,

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训推荐课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术,内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计,最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计,以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计;通过该套课程的学习,可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计,以及天线及其匹配电路的设计和调试...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



WiFi 和蓝牙天线设计培训课程



该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP)公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像,课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结,主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用,匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识,以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您,绝对值得拥有和学习!...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>