ICS 43.040.10
T 36

中华人民共和国国家标准

GB/T 28046.3—2011

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, MOD)

2011-10-31 发布　　2012-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

前　言

GB/T 28046《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 28046的第3部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用ISO 16750-3:2007《道路车辆　电气及电子设备的环境条件和试

[redacted]

验　第3部分：机械负荷》进行制定。

本部分与ISO 16750-3:2007的技术性差异及原因如下：

——因原标准中第6章的说明没有指导意义，本部分予以删除；

——为保持上下文和理解的统一，4.5补充一句：试验和要求由供需双方协商；

——原文图1的－40和表1的－40属于原文的明显错误，为保持系列标准的相互对应和协调关系，将图1的－40删除，将表1的－40替换为T_{min}。同时给表1的T_{min}补加了角注：T_{min}见GB/T 28046.4；

——原文4.1.2.9.2试验，未给出采用的试验标准。参照其他试验方法，补加了采用GB/T 2423.10进行试验。

本部分相对ISO 16750-3:2007编辑性修改如下：

——删除国际标准的前言。

本部分由国家发展和改革委员会提出。

本部分由全国汽车标准化技术委员会(SAC/TC 114)归口。

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

本部分描述了安装在车辆上/内特定位置的系统/组件可能的机械环境负荷，且规定了试验及要求。

本部分适用于汽车电气电子系统/组件。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GB/T 2423.6　电工电子产品环境试验　第二部分：试验方法　试验Eb和导则：碰撞(GB/T 2423.6—1995，IEC 60068-2-29：1987，IDT)

GB/T 2423.8　电工电子产品环境试验　第二部分：试验方法　试验Ed：自由跌落(GB/T 2423.8—1995，IEC 60068-2-32：1995，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—2008，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(GB/T 2423.22—2002，IEC 60068-2-14：1984，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 2423.58　电工电子产品环境试验　第2-80部分：试验方法　试验Fi：振动　混合模式(GB/T 2423.58—2008，IEC 60068-2-80：2005，IDT)

GB/T 28046.1　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(GB/T 28046.1—2011，ISO 16750-1：2006，MOD)

GB/T 28046.4　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(GB/T 28046.4—2011，ISO 16750-4：2006，MOD)

3　术语和定义

GB/T 28046.1　给出的术语和定义适用于本文件。

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。

规定的量级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。推荐的振动试验用于避免在使用过程中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，并按图 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 T_{min} 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 210 min 和第 410 min 间进行。

对试验箱不允许进行辅助烘干。

t——时间，min；

T——温度，℃；

a——工作模式 3.2；

b——一个周期。

4.1.2 试验

4.1.2.1 试验Ⅰ——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。

活塞发动机的振动可以分为两种类型：

——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。

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

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 2423.58 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

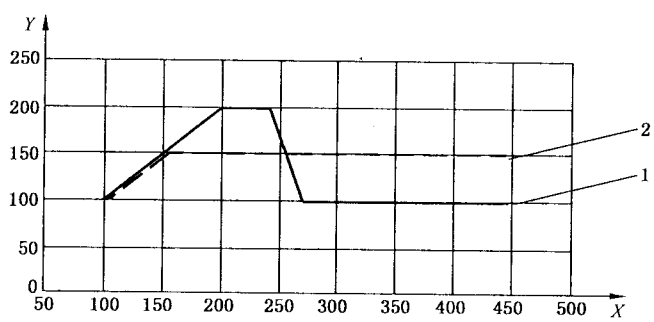
按 GB/T 2423.10 进行试验，不同于 GB/T 2423.10 的是扫频速率不大于 0.5 oct/min。DUT 每个轴向的试验持续时间为 22 h，加速度幅值和频率按图 2 和表 2 规定。

注：试验持续时间基于附录 A 中 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；

Y——最大加速度，m/s^2；

1——曲线 1(≤5 缸的发动机)；

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)	曲线 2(见图 2)	二者组合

注：在正弦振动频率范围内 PSD 值(随机振动)被降低。

4.1.2.1.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T 28046.1 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——乘用车变速器

4.1.2.2.1 目的

检验 DUT 因受振动导致的故障和损坏。

变速器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他随机振源。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏，路面粗糙产生的影响在 10 Hz～100 Hz 的最低频段。

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

建议采用 GB/T 2423.58 规定的混合振动试验替代上述试验。

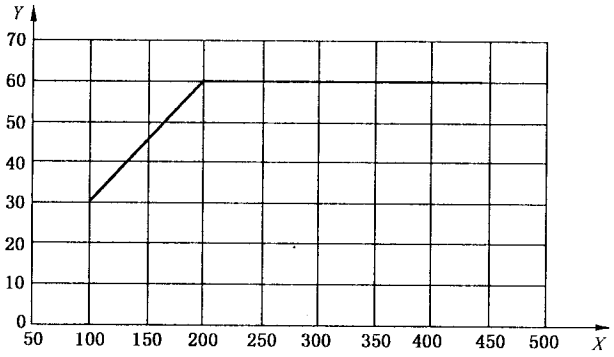
4.1.2.2.2 试验

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 的是扫频速率不大于 0.5 oct/min。DUT 每个轴向的试验持续时间为 22 h。

注：试验持续时间基于附录 A 中 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/s^2。

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

4.1.2.2.2.2 随机振动

按 GB/T 2423.56 进行试验，DUT 每个轴向的试验持续时间为 22 h，加速度均方根(r.m.s.)值应为 96.6 m/s^2。

注：在正弦振动试验的频率范围内，PSD 值(随机振动)被降低。

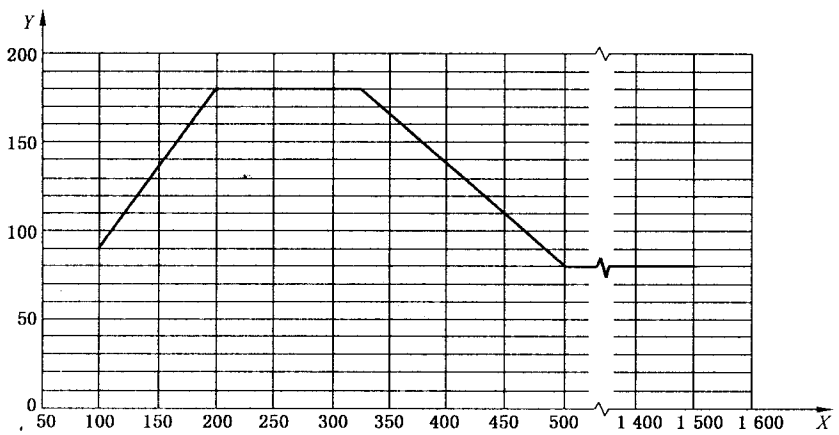
PSD 与频率按图 5 和表 5 规定。

4.1.2.3.2 试验

按 GB/T 2423.10 进行试验，不同于 GB/T 2423.10 的是扫频速率不大于 0.5 oct/min。DUT 每个轴向的试验持续 22 h。

注：试验持续时间基于附录 A 中 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/s^2

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 28046.1 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。

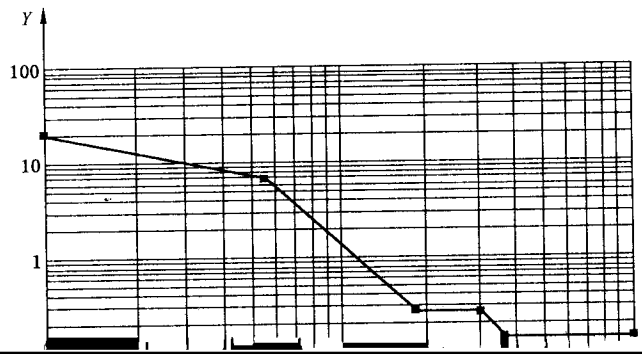
4.1.2.4 试验Ⅳ——乘用车弹性体(车身)

4.1.2.4.1 目的

4.1.2.4.2 试验

按 GB/T 2423.56 进行随机振动试验，DUT 每个轴向的试验持续 8 h，加速度均方根(r.m.s.)值应为 27.8 m/s^2。PSD 与频率按图 7 和表 7 规定。

注：试验持续时间基于附录 A 中 A.5。



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低于 20 Hz 频率段，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 每个轴向的试验持续 8 h，加速度均方根(r.m.s.)值应为 107.3 m/s^2。PSD 与频率见图 8 和表 8 所示。

注：试验持续时间基于附录 A 中 A.5。

活塞发动机的振动可以分为两种类型：

——由气缸不平衡质量作用于连杆上产生的正弦振动；

——发动机其他振动源产生的随机噪声，如阀门

4.1.2.6.2.2 随机振动

按 GB/T 2423.56 进行随机振动试验。

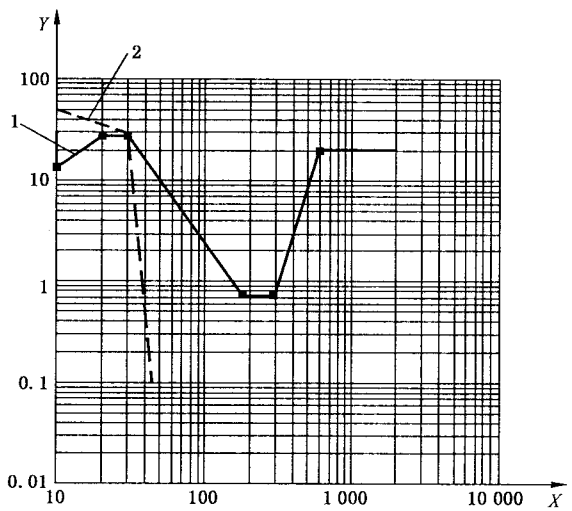
试验持续时间为：

——一般情况：DUT 每个轴向的试验持续时间为 94 h(见图 10 和表 10)；

——固有频率(f_n)低于 30 Hz 时：DUT 的每个关键轴向附加 32 h(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、表 11。



其中：

X——频率，Hz；

Y——PSD，$(m/s^2)^2/Hz$；

1——一般情况下的随机试验曲线；

2——f_n<30 Hz 的附加曲线。

图 10 PSD 与频率

表 10 PSD 与频率

频率 Hz	PSD $(m/s^2)^2/Hz$
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 177 m/s^2。	

表 11 PSD 与频率(f_n<30 Hz 的附加试验)

频率 Hz	PSD $(m/s^2)^2/Hz$
10	50
30	30
45	0.1

注：加速度均方根(r.m.s.)值为 28.6 m/s^2。

.2.6.3 要求

不应出现损坏。在 GB/T 28046.1 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
能状态 C。

.2.7 试验Ⅶ——商用车弹性体

.2.7.1 目的

表 12 PSD 与频率

频率 Hz	PSD $(m/s^2)^2/Hz$
10	18
20	36

Y
100
1

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

4.1.2.9.2 试验

按4.1.2.7试验Ⅶ进行随机振动试验，按如下规定进行正弦振动试验。正弦振动试验按GB/T 2423.10在室温下进行。

4.2 机械冲击

4.2.1 装在门和盖板内/上

4.2.1.1 目的

检验 DUT 受类似门的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(例如门撞击产生的高加速度使电子控制

4.2.1.2 试验

4.2.2.3 要求

功能状态应达到 GB/T 28046.1 定义的 A 级。

4.2.3 在变速器内/上

4.2.3.1 目的

检验 DUT 因受换挡冲击导致的失效和损坏，适用于专门装在变速器内/上的 DUT 。

负荷发生在气动助力换挡操作中。失效模式为机械损坏(例如，由气动助力换挡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 28046.1)；

——冲击脉冲型式：半正弦波；

——典型最大加速度：商用车为 3 000 m/s²～50 000 m/s²，乘用车由供需双方协商；

——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。

对商用车，上述参数主要用于气动助力换挡操作(如果安装了变挡系统，150 000 m/s² 为推荐最大值)。

功能状态应达到 GB/T 28046.1 定义的 A 级。

4.3 自由跌落

4.3.1 目的

——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 28046.1)；
——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表有微小损坏，正常性能将在试验后

证实。

功能状态应达到 GB/T 28046.1 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)。

4.5 砂石轰击

检验 DUT 耐砂石轰击能力(安装在暴露的位置上，如车身的前部和后部)。试验和要求由供需双方协商。

5 机械负荷代码字母

见表 18。

附 录 A
（资料性附录）
振动试验曲线建立指南

A.1 目的

有助于本部分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。

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，振动夹具应具有尽可能大的刚度，通常比装车条件大得多。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。

表 A.1（续）

术语	文件 车辆描述	推荐的文件/参数 技术数据（即：功率、最大转速、标称速度、体积、发动机种类、汽缸数）	注　解
	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 Hanning 窗	

表 A.1（续）

术语	文件 车辆描述	推荐的文件/参数 技术数据（即：功率、最大转速、标称速度、体积、发动机种类、汽缸数）	注　解
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 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。正如在 MIL810 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 4.1.2 中的试验	

1) SAE 出版物=80%；

2) “最不利情况”=20%。

这就导出转速范围从 0.9$n_{nominal}$到 n_{max}之间的 0.5%相对分布。每个轴向试验 22 h，相当于车辆 4 400 h 的寿命。若平均时速为 40 km/h，则表示 176 000 km 里程。考虑到其他寿命，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 100 h。这段时间对于多数振动环境容易达到等效疲劳损伤。

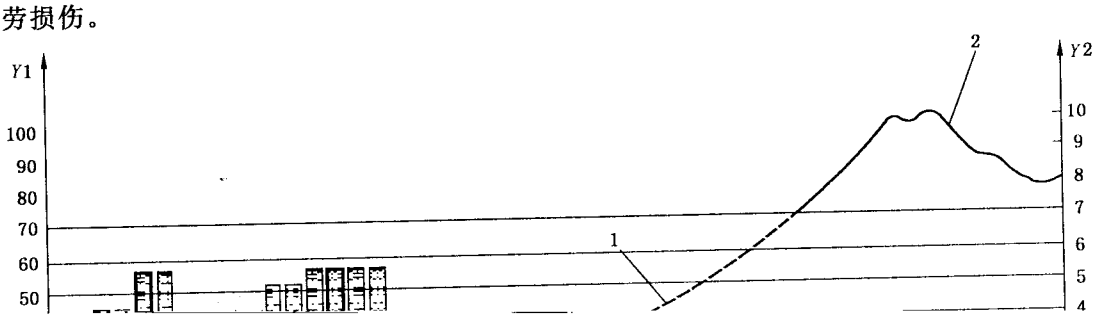


表 A.2（续）

表 A.2（续）

	r.m.s.量级对应	r/min 概率[a]	r/min 概率[b]	有利的 r/min

表 A.2（续）

$n/n_{nominal}$	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] $(20p_x+80p'_x)/100$
1.100	86	0.06	0.00	0.01
1.125	85	0.06	0.00	0.01

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(6 000 h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

[redacted]

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19.91 s的测量，对8 h试验的计算。

——负荷分布通过用3.69 s在粗糙路面(道路颠簸，50 km/h)的测量，对5 400 h试验的计算(车辆寿命6 000 h，粗糙道路占90%)。

表 A.4（续）

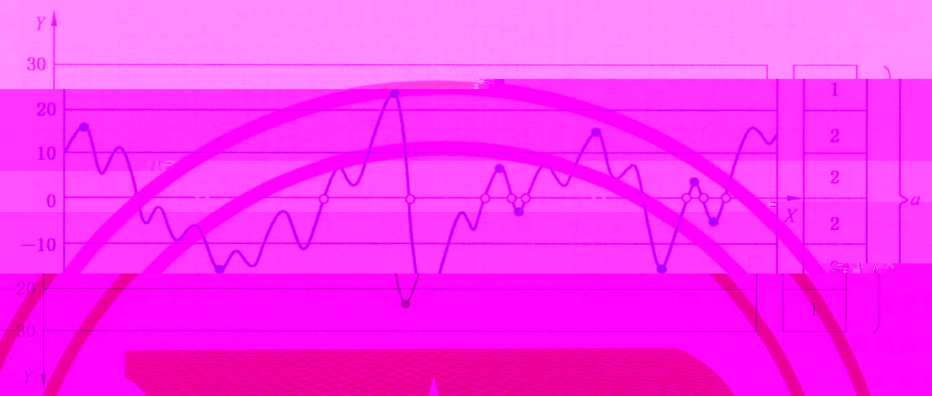
8 h 随机振动试验		5 400 h 劣质道路行驶	
加速度量级 a_i m/s^2	每个量级周期数 n_i	加速度量级 a_i m/s^2	每个量级周期数 n_i

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(8h×3 600 s/h)/19.9 s=1 447。

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 h×0.9×3 600 s/h)/3.69 s=5 268 293。



其中：

X——时间；

Y——量级，m/s^2；

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 模式描述斜率 k 和疲劳数 N 的 Basquin 公式后选择任意值为 a_D 的初始值。

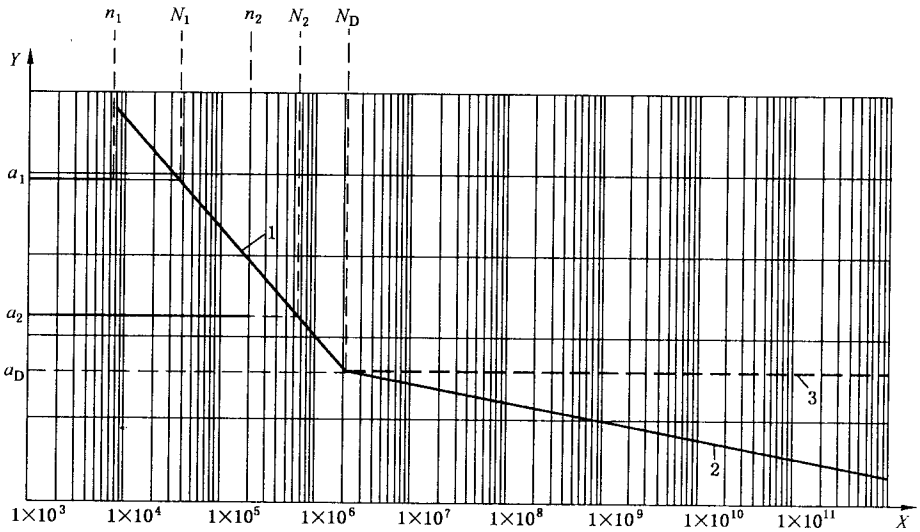
选择 S/N 模式，可以计算出对应每个振级 a_i 的失效循环数 N_i 及相应的损坏系数。

符合 Palmgren—Miner 假设，在每一振级 a_i 局部损坏 s_i 由下述公式确定：

整体损坏 S，由下述公式确定：

如果其中的一些模式是不实际的，还会有其他的模式。每种模式中都至少有一种模式是始终实际的。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 种模式)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 $2k-1$；

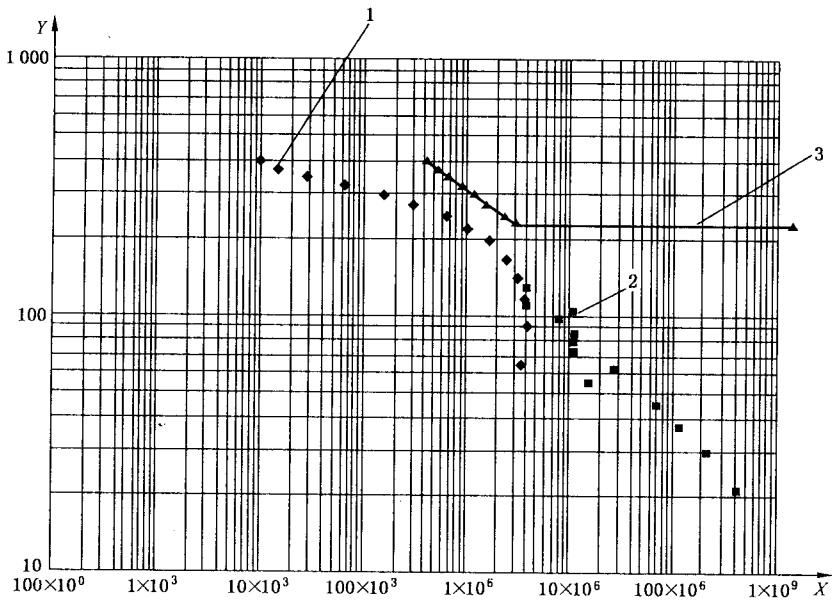
3——Palmgren—Miner。

$$S=\sum\left(\frac{n_i}{N_i}\right)\leqslant 1$$

图 A.3　Palmgren—Miner 假设—线性损坏累积 S

表 A.6　随机振动试验和试验场测量负荷分布的比较

随机振动试验 (8 h)		对应 S/N 模式曲线图 (2×10^6，$k=5$，$a_D=229$ m/s²)		车辆测量，颠簸道路 (5 400 h)	
加速度 m/s²	周期数 n	加速度 m/s²	S/N 周期数 n	加速度 m/s²	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	1 004.4	7 910 156
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



其中：

X——周期数；

Y——加速度，m/s^2；

1——随机振动试验(8 h)；

2——车辆测量；

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

图 A.4　负荷分布和 S/N 曲线(一种模式)

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	
		乘用车	商用车
发动机舱	车身	D,K	
	车架	K,L	
	非刚性连接的柔性进气管上	C	
	非刚性连接的柔性进气管内	C	
	在发动机上	A,B,J	
	在发动机内	A,B,J	
	变速器/减速器上	U,V	
	变速器/减速器内	U,V	
乘客舱	无特殊要求	D,E,K,L	
	太阳直射处	D,E,K,L	
	热辐射处	D,E,K,L	